

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**  
**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**KATEDRA KONSTRUKCÍ**



## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**EXPEDIČNÍ HALA S OCELOVOU NOSNOU KONSTRUKCÍ**

**DISPATCH HALL WITH STEEL STRUCTURAL SYSTÉM**

VYPRACOVAL: Bc. Vlastislav Opěla  
VEDOUCÍ DP: Ing. Vít Křivý, Ph.D.

OSTRAVA, 2011

#### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 30.11.2011

.....  
Bc. Vlastislav Opěla

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

**Anotace diplomové práce**

Diplomová práce se zabývá kompletním statickým návrhem všech nosných částí expediční haly hutních výrobků. Hala se nachází v Ostravě, okres Ostrava, stát Česká republika. Součástí této práce je také rešerše o navrhování hal. Textová část diplomové práce má 177 stran.

**Annotation thesis**

This thesis deals with construction design of static load-bearing parts of the dispatch hall of metallurgic products. Hall is situated in Ostrava, Czech Republic. Part of this work is also comprehensive description on the design of hall. Thesis is 177 pages long.





## **OBSAH DIPLOMOVÉ PRÁCE**

<b>1</b>	<b>JEŘÁBOVÉ DRÁHY VŠEOBECNĚ .....</b>	<b>- 6 -</b>
1.1	ZÁKLADNÍ TERMINOLOGIE.....	- 6 -
1.2	DRUHY JEŘÁBŮ.....	- 7 -
1.3	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ JEŘÁBOVÝCH DRAH .....	- 9 -
1.3.1	Konstrukční uspořádání jeřábových drah ze statického hlediska .....	- 10 -
<b>2</b>	<b>HALY VŠEOBECNĚ.....</b>	<b>- 11 -</b>
2.1	DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ HAL .....	- 12 -
2.1.1	Skladba konstrukce .....	- 12 -
2.1.2	Dispoziční uspořádání .....	- 13 -
2.2	OBRÁZKOVÉ PŘÍKLADY PRŮMYSLOVÝCH HAL .....	- 15 -
<b>3</b>	<b>NÁVRH ŘEŠENÉ HALY .....</b>	<b>- 16 -</b>
<b>4</b>	<b>ZPŮSOB VÝPOČTU VNITŘNÍCH SIL A POSOUZENÍ PRUTŮ .....</b>	<b>- 17 -</b>
<b>5</b>	<b>FYZIKÁLNÍ VELIČINY A ZNAČKY POUŽITÉ VE STATICKÉM VÝPOČTU .....</b>	<b>- 18 -</b>
<b>6</b>	<b>JEŘÁBOVÁ DRÁHA .....</b>	<b>- 21 -</b>
6.1	PARAMETRY JEŘÁBU .....	- 21 -
6.2	URČENÍ DYNAMICKÝCH SOUČINITELŮ .....	- 21 -
6.3	SVISLÉ ZATÍŽENÍ .....	- 22 -
6.3.1	Zatížení od kladkostroje .....	- 22 -
6.3.2	Celkové svislé síly .....	- 23 -
6.4	VODOROVNÉ ZATÍŽENÍ OD ZRYCHLENÍ A ZPOMALENÍ.....	- 24 -
6.4.1	Hnací síla ( $K$ ) .....	- 24 -
6.4.2	Síly v podélném směru ( $H_L$ ) .....	- 24 -
6.4.3	Síly v příčném směru ( $H_{T,i}$ ) .....	- 25 -
6.5	VODOROVNÉ ZATÍŽENÍ ( $H_S$ ) A SÍLA NA VEDENÍ ( $S$ ) OD PŘÍČENÍ JEŘÁBU .....	- 25 -
6.5.1	Úhel příčení ( $\alpha$ ) a součinitel reakcí při příčení ( $f$ ) .....	- 26 -
6.5.2	Vzdálenost středu otáčení ( $h$ ) .....	- 26 -
6.5.3	Součinitele sil ( $\lambda$ ) .....	- 27 -
6.5.4	Výpočet sil .....	- 28 -
6.6	VODOROVNÉ ZATÍŽENÍ OD ZRYCHLENÍ NEBO ZPOMALENÍ KOČKY ( $H_T$ ).....	- 28 -
6.7	REKAPITULACE ZATÍŽENÍ PODLE JEDNOTLIVÝCH SKUPIN .....	- 29 -
6.7.1	Skupina zatížení 1 .....	- 29 -
6.7.2	Skupina zatížení 5 .....	- 30 -
6.7.3	Skupina zatížení 6 .....	- 30 -
6.8	HLAVNÍ NOSNÍK JEŘÁBOVÉ DRÁHY .....	- 30 -



6.8.1	Výpočet vnitřních sil .....	30 -
6.8.2	Rekapitulace vnitřních sil .....	34 -
6.9	NÁVRH PRŮŘEZU HLAVNÍHO NOSNÍKU .....	34 -
6.9.1	Průřezové charakteristiky .....	34 -
6.9.2	Zatřídění průřezu .....	35 -
6.10	POSOUZENÍ HLAVNÍHO NOSNÍKU .....	35 -
6.10.1	Posouzení nosníku na boulení od ohybu pásnic .....	35 -
6.10.2	Posouzení na smyk .....	36 -
6.10.3	Posouzení na ohyb o osovou sílu .....	36 -
6.10.4	Posouzení na účinek příčných sil .....	40 -
6.10.5	Posouzení rovinného namáhání ve stěně nosníku .....	43 -
6.10.6	Posouzení příčných výztuh .....	44 -
6.10.7	Posouzení krčních svarů .....	46 -
6.10.8	Mezní stav použitelnosti .....	47 -
6.11	VODOROVNÝ VÝZTUŽNÝ NOSNÍK .....	48 -
6.11.1	Geometrie a statický model .....	48 -
6.11.2	Výpočet zatížení .....	48 -
6.11.3	Pásový prut .....	48 -
6.11.4	Svislice .....	52 -
6.11.5	Diagonála D1 .....	54 -
6.11.6	Diagonála D2 .....	55 -
6.11.7	Diagonála D3 .....	57 -
6.11.8	Diagonála D4 .....	59 -
6.11.9	Diagonála D5 .....	60 -
6.11.10	Mezní stav použitelnosti – posouzení vodorovného průhybu .....	62 -
6.12	POSOUZENÍ HLAVNÍHO NOSNÍKU NA ÚNAVU .....	63 -
6.12.1	Únavové zatížení a určení součinitelů .....	63 -
6.12.2	Posouzení pásnice v místě svaru styčnickového plechu .....	64 -
6.12.3	Pásnice v místě otvoru pro šrouby příložek kolejnice .....	65 -
6.12.4	Posouzení pásnice v místě svaru výztuhy stojiny .....	66 -
6.12.5	Posouzení stojiny v místě koutových svarů .....	67 -
6.12.6	Posouzení koutového svaru pod horní pásnicí .....	69 -
6.13	SÍLA NA KONCOVÉ NÁRAZNÍKY JEŘÁBOVÉ DRÁHY .....	71 -
6.14	STYČNÍKY VODOROVNÉHO NOSNÍKU .....	72 -
6.14.1	Přípoj svislice k hlavnímu nosníku .....	72 -
6.14.2	Styčnický pásový prut .....	73 -
7	<b>SKLADOVACÍ HALA .....</b>	<b>74 -</b>



7.1	VÝPOČET ZATÍŽENÍ .....	- 74 -
7.1.1	Zatížení stálá .....	- 74 -
7.1.2	Zatížení užité .....	- 75 -
7.1.3	Zatížení sněhem .....	- 75 -
7.1.4	Zatížení větrem .....	- 77 -
7.2	POSOUZENÍ STŘEŠNÍ KONSTRUKCE .....	- 84 -
7.2.1	Trapézový plech .....	- 84 -
7.2.2	Vnitřní střešní Z-vaznice (mezilehlá) – část 1 .....	- 85 -
7.2.3	Vnitřní střešní Z-vaznice (mezilehlá) – část 2 – vaznice č. 1 .....	- 88 -
7.2.4	Vnitřní střešní Z-vaznice (mezilehlá) – část 2 – vaznice č. 8 .....	- 91 -
7.2.5	Okapové vaznice .....	- 92 -
7.2.6	Vrcholové vaznice .....	- 92 -
7.2.7	Konstrukční zásady spojování a připojování vaznic .....	- 93 -
7.3	NÁVRH A POSOUZENÍ PŘÍČNÉ VAZBY HALY .....	- 94 -
7.3.1	Analýza zatížení – zatěžovací stavy .....	- 94 -
7.3.2	Mezní stav použitelnosti .....	- 107 -
7.3.3	Klasifikace rámu z hlediska posuvnosti styčníků .....	- 110 -
7.3.4	Posouzení příčle – KZS 125 .....	- 113 -
7.3.5	Posouzení příčle – KZS 99 .....	- 116 -
7.3.6	Posouzení sloupu – KZS 84 .....	- 118 -
7.3.7	Posouzení sloupu – KZS 124 .....	- 120 -
7.3.8	Posouzení nejvíce namáhaného rámového rohu .....	- 122 -
7.3.9	Posouzení patky – KZS 84 .....	- 125 -
7.3.10	Posouzení patky – KZS 124 .....	- 130 -
7.3.11	Posouzení patky – KZS 91 .....	- 135 -
7.4	SLOUPKY ŠTÍTOVÉ STĚNY .....	- 141 -
7.4.1	Zatížení .....	- 141 -
7.4.2	Maximální ohybový moment .....	- 141 -
7.4.3	Průřezové charakteristiky IPE 220 .....	- 142 -
7.4.4	Posouzení .....	- 142 -
7.4.5	Patka sloupu .....	- 143 -
7.5	KRAJNÍ PŘÍČNÁ ZTUŽIDLA VE STŘEŠNÍ ROVINĚ .....	- 145 -
7.5.1	Geometrické schéma a zatížení reakcemi sloupků stěny .....	- 145 -
7.5.2	Návrh a posudek .....	- 146 -
7.6	STŘEDNÍ PŘÍČNÁ ZTUŽIDLA VE STŘEŠNÍ ROVINĚ .....	- 148 -
7.6.1	Analýza zatížení .....	- 148 -
7.6.2	Vnitřní síly na prutech ztužidla .....	- 149 -
7.7	PODÉLNÉ ZTUŽIDLO V ROVINĚ OBVODOVÉ STĚNY – ČÁST 1 .....	- 150 -



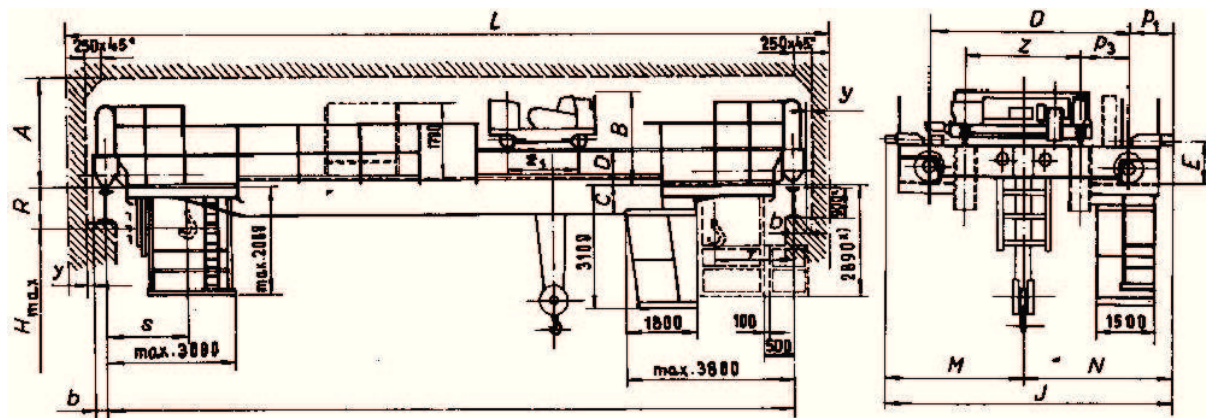
7.7.1	Analýza zatížení .....	- 150 -
7.7.2	Vnitřní síly.....	- 151 -
7.7.3	Návrh a posouzení prutů .....	- 151 -
7.8	PODÉLNÉ ZTUŽIDLO V ROVINĚ STŘEDNÍCH SLOUPŮ.....	- 153 -
7.8.1	Analýza zatížení .....	- 154 -
7.8.2	Vnitřní síly.....	- 155 -
7.8.3	Návrh a posouzení prutů .....	- 155 -
7.9	PODÉLNÉ ZTUŽIDLO V ROVINĚ OBVODOVÉ STĚNY – ČÁST 2 .....	- 157 -
7.9.1	Analýza zatížení .....	- 158 -
7.9.2	Vnitřní síly.....	- 159 -
7.9.3	Návrh a posouzení prutů .....	- 159 -
7.10	PŘENOS REAKCE ZTUŽIDEL .....	- 159 -
7.11	POSOUZENÍ OKAPOVÉ VAZNICE – NEVÍCE ZATÍŽENÁ (ČÁST 2, PRAVÝ OKAP).....	- 159 -
7.11.1	Zatížení .....	- 159 -
7.11.2	Posouzení .....	- 160 -
7.12	KONZOLA JEŘÁBOVÉ DRÁHY .....	- 160 -
7.12.1	Zatížení .....	- 160 -
7.12.2	Návrh průřezu .....	- 160 -
7.12.3	Vnitřní síly v konzole .....	- 161 -
7.12.4	Posouzení průřezu .....	- 161 -
7.12.5	Posouzení připojení.....	- 162 -
7.12.6	Posouzení stěny sloupu a výztuh: .....	- 163 -
7.13	MONTÁŽNÍ PŘÍPOJ PŘÍČLE A SLOUPU.....	- 164 -
7.14	HŘEBENOVÉ SPOJENÍ PŘÍČLÍ .....	- 165 -
<b>8</b>	<b>TECHNICKÁ ZPRÁVA.....</b>	<b>- 165 -</b>
8.1	ÚVOD.....	- 165 -
8.2	POPIS KONSTRUKCÍ .....	- 165 -
8.2.1	Údaje o zatížení .....	- 166 -
8.2.2	Svislé konstrukce .....	- 166 -
8.2.3	Vodorovné a šikmé konstrukce .....	- 167 -
8.2.4	Základové konstrukce.....	- 167 -
8.2.5	Zajištění prostorové tuhosti a stability konstrukce .....	- 168 -
8.3	POUŽITÉ MATERIÁLY.....	- 168 -
8.4	PODKLADY POUŽITÉ K NÁVRHU A POSOUZENÍ HALY .....	- 168 -
8.5	POUŽITÉ PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ.....	- 169 -
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>- 170 -</b>



<b>10</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH NOREM, LITERATURY A PODKLADŮ .....</b>	<b>- 171 -</b>
10.1	NORMY .....	- 171 -
10.2	LITERATURA.....	- 171 -
10.3	DALŠÍ ZDROJE.....	- 172 -
<b>11</b>	<b>PŘÍLOHY.....</b>	<b>- 172 -</b>
11.1	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	- 172 -
11.2	SEZNAM TABULEK .....	- 177 -
11.3	SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE .....	- 177 -

## 1 JEŘÁBOVÉ DRÁHY VŠEOBECNĚ

Jeřábová dráha je součást stavby, po které se pohybují jeřáby. Je to konstrukce určená pro pojezd jeřábů, tvořená nosníkovou konstrukcí s kolejnicemi, nebo ocelovými nosníky podvěsných jeřábů, nebo nosníkem pojízdného kladkostroje (zdvihadla), popř. samostatnou kolejí na podloží. Součástí jeřábové dráhy je i nutné příslušenství, zejména nárazníky, narážky, lávky, plošiny, schodiště, žebříky, zábradlí, popř. nosníky a konzoly trolejí.

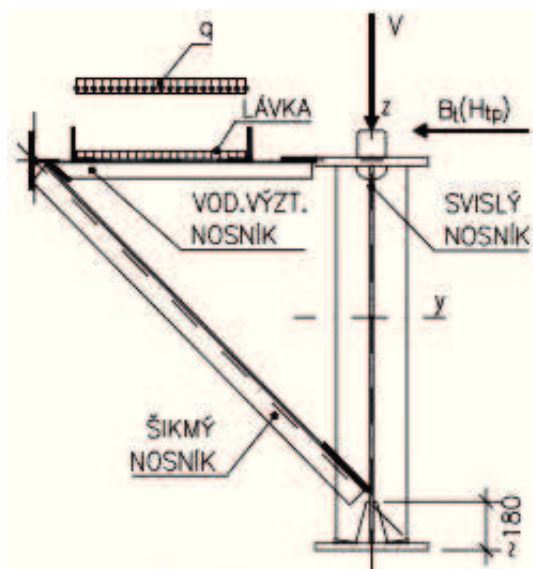


Obr. 1: Ukázka mostového jeřábu.

### 1.1 ZÁKLADNÍ TERMINOLOGIE

- Větev jeřábové dráhy je část konstrukce jeřábové dráhy, po níž pojezdí pojezdová kola jeřábu.
- Pole větve jeřábové dráhy je část větve jeřábové dráhy mezi dvěma sousedními podporami, popř. s prodloužením nosníku za poslední podporu, tj. s převislým koncem.
- Rozchod jeřábové dráhy je vodorovná vzdálenost mezi svislými osami (středy) jeřábových kolejnic obou větví jeřábové dráhy mostových, portálových a polo-portálových jeřábů, a vodorovná vzdálenost mezi svislými osami pojezděných nosníků vnějších větví jeřábové dráhy podvěsného jeřábu.
- Výška jeřábové dráhy je svislá vzdálenost od úrovně země (podlahy) k úrovni hlavy kolejnice jeřábové dráhy. Výška jeřábové dráhy je různá pro jednotlivé typy jeřábů.
  - U jeřábů mostových, portálových a polo-portálových k úrovni hlavy kolejnice.
  - U jeřábů podvěsných a pojízdných zdvihadel k horní hraně poježděné příruby, popř. závěsné kolejnice.
  - U pojízdných konzolových jeřábů k úrovni hlavy nosné kolejnice na svislém nosníku.
- Průchozí lávka je lávka podél celé větve jeřábové dráhy určená zejména pro nouzový únik z kabiny nebo koše jeřábu.
- Revizní lávka je lávka v části větve jeřábové dráhy určená ke kontrole, údržbě a opravám jeřábu.
- Revizní plošina je plošina v příčném, popř. i v přilehlém podélném směru jeřábové dráhy určená ke kontrole, údržbě a opravám jeřábu a jeřábové dráhy.
- Nástupní plošina je plošina určená pro přístup do kabiny nebo koše jeřábu.
- Zarážka je součást jeřábové dráhy, která zajišťuje polohu kolejnice ve vodorovném směru kolmém k ose jeřábové dráhy.
- Příložka je součást, ke které se šroubem a maticí připojuje příchytka (zpravidla plní i funkci zarážky).

- Přichytka je součást, zajišťující polohu kolejnice ve svislém směru.



Obr. 2: Příčný řez větví jeřábové dráhy (prostorový nosník).

## 1.2 DRUHY JEŘÁBŮ

- Mostové jeřáby:
  - Jsou nejrozšířenějším typem jeřábů.
  - Sestávají z mostu, který pojíždí po kolejnicích jeřábové dráhy a z kočky, která pojíždí po mostě.
  - Jeřáb může být řízen z kabiny umístěna na mostu jeřábu, nebo ze země.
  - Rozdělení podle nosnosti:
    - Lehké – nosnost do 12,5 t.
    - Středně těžké – nosnost do 50 t.
    - Těžké – nosnost nad 50 t.
  - Obvykle je poháněn elektromotory.



Obr. 3: Ukázka mostového jeřábu.

- Podvěsné mostové jeřáby:
  - Pojíždí obvykle po spodních přírubách nosníků.



- Jeden nosník je uložen pevně, ostatní jsou uloženy kyvně.



*Obr. 4: Ukázka mostového podvěsného jeřábu.*

- Kladkostroje:
  - Je použit pouze jeden nosník, po jehož spodní přírubě se pohybuje kladkostroj.



*Obr. 5: Ukázka podvěsného kladkostroje.*

- Konzolové jeřáby:
  - Dráha je tvořena dvěma, nebo třemi nosníky, které zachycují svislou a vodorovnou složku sil v patě jeřábu a vodorovnou sílu v hlavě jeřábu.





Obr. 6: Ukázka konzolového jeřábu.

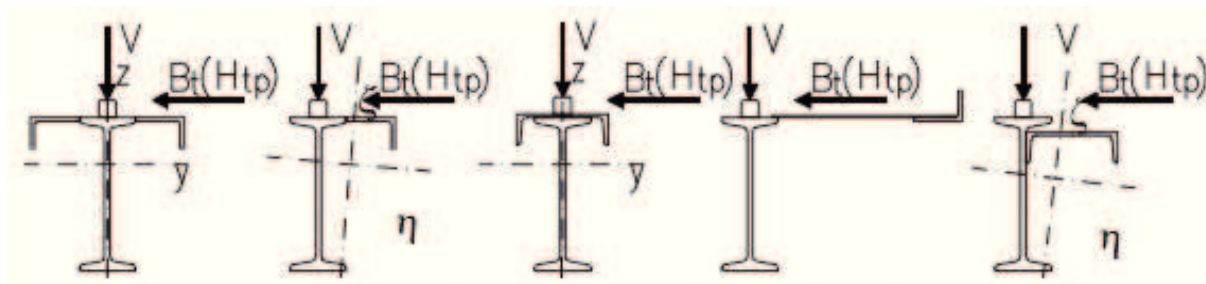
- Portálové jeřáby:
  - Jeřábová dráha je uložena na pevném podkladu, nejčastěji v úrovni podlahy.
  - Při nízké nosnosti se používá jeřáb uložený na bantamových kolečkách, které umožňují libovolné přemístění.



Obr. 7: Ukázka portálového jeřábu.

### 1.3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ JEŘÁBOVÝCH DRAH

- Jeřábové dráhy z válcovaných profilů:
  - Používají se pro lehké jeřáby a při malém rozpětí pole jeřábové dráhy (do 6 metrů).
  - Nosník má často zesílenou horní pásnici, která zachytává účinky vodorovných příčných sil (viz. obr. 8).

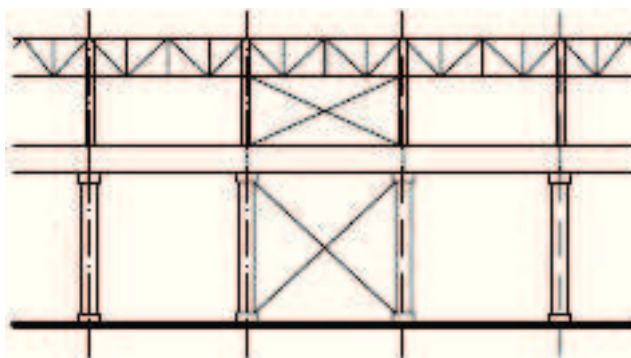


Obr. 8: Příklady vyztužení horní pásnice válcovaného nosníku.

- Jeřábové dráhy se složeným nosníkem:
  - Jsou často používané pro středně těžké jeřáby a pro větší rozpětí, než je tomu u nosníků z válcovaných profilů.
  - Nosníky jsou svařované symetrické nebo nesymetrické průřezy tvaru písmene „I“ vyztužené ve vodorovném směru plnostěnným nebo příhradovým nosníkem.
  - Horní pásnice je obvykle mohutnější, neboť je součástí vodorovného nosníku.
  - Vodorovný nosník se současně využívá jako podpora pro revizní lávku.
  - Volný pás vodorovného nosníku bývá podepřen ve třetinách nebo čtvrtinách šikmými vzpěrami, které jsou v patě opřeny o hlavní svislý nosník. Obvykle jsou připojeny k výztuhám stojiny svislého nosníku. Při velkém rozpětí lze volný pás podepřít dalším svislým příhradovým (galeriovým) nosníkem. Pro těžké jeřáby je galeriový nosník připojen k spodní pásnici hlavního nosníku dalším příhradovým nosníkem – takováto soustava je tuhá na kroucení. Pokud se vedle sebe nacházejí dvě nebo více jeřábových drah ve stejné výškové úrovni, pak jsou propojeny jedním společným vodorovným výztužným nosníkem v místě středních sloupů.
- Jeřábové dráhy s dvojitým nosníkem:
  - Navrhují se pro zvláště těžké jeřáby.
  - Při dostatečné šířce průřezu přenesou i vodorovná zatížení.
  - Kolejnice uložená uprostřed pásnice musí být podporována podkolejnicovým nosníkem uloženým na příčných diafragmatech průřezu.

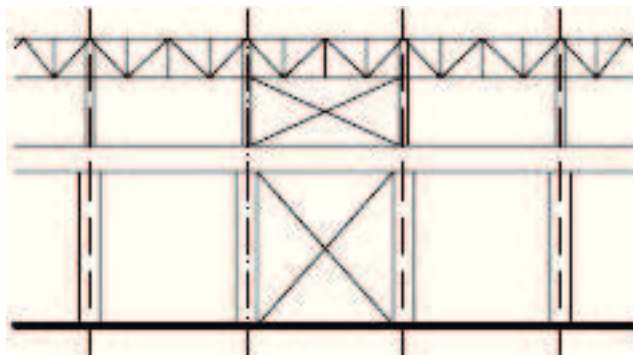
### 1.3.1 Konstrukční uspořádání jeřábových drah ze statického hlediska

- Prosté nosníky: Pro jednoduchost konstrukčního řešení, montáže a necitlivosti na pokles podpor se jedná o nejvíce navrhovaný typ nosníku jeřábové dráhy.



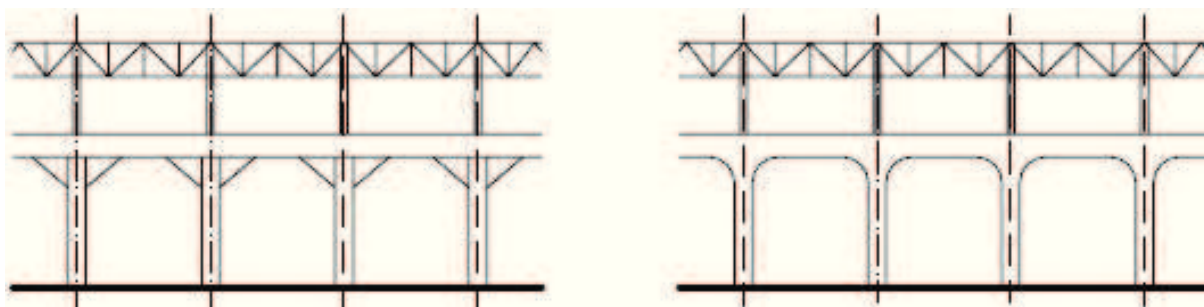
Obr. 9: Prosté nosníky jeřábové dráhy.

- Spojité nosníky: Ve srovnání s prostými nosníky vykazují menší spotřebu oceli, menší průhyb a mohou mít menší konstrukční výšku. Naopak vyžadují složitější konstrukční řešení, komplikovanější výrobu a montáž a jsou citlivé na pokles podpor. V oblasti nad podporou je nutné realizovat zesílení dolního pásu nosníku.



Obr. 10: Spojité provedení nosníků jeřábové dráhy.

- Rámové jeřábové dráhy: Ve srovnání s výše popsanými typy nosníků vykazují menší spotřebu oceli, lepší provozní podmínky, není nutná realizace brzdových ztužidel. Naopak vyžadují náročnější konstrukční řešení a montáž, jsou citlivé na pokles podpor, je třeba zvětšení rozměrů základů a provedení komplikovanější patky.



Obr. 11: Rámové provedení jeřábové dráhy.

## 2 HALY VŠEOBECNĚ

Halové stavby jsou budovy o jednom nadzemním podlaží. Někdy mohou mít v omezeném rozsahu půdorysu u i vestavěná podlaží. Jejich účelem je:

- Ochrana před povětrnostními vlivy.
- Zajištění provozu uvnitř haly. Např. vytvoření dopravních cest, manipulace s materiálem pomocí jeřábů apod.

Haly jsou budovány především pro průmyslové či zemědělské provozy, sklady, garáže, opravy, laboratoře, obchody a sportovní a výstavní objekty. Nosná konstrukce haly přejímá nejen účinky vlastní hmotnosti a účinky zatížení působících na obvodový plášť, ale také účinky od technologických zařízení (zejména jeřábů) a dalších zařízení hal (např. instalací, osvětlení apod.).

Z materiálového hlediska mohou být haly postaveny ze dřeva, oceli i betonu. Výběr materiálu závisí především na rozpětí haly, s čímž je spojeno i ekonomické hledisko.

- |                          |                                       |
|--------------------------|---------------------------------------|
| ▪ $L < 12\text{ m}$      | dřevo (zděné stěny a dřevěná střecha) |
| ▪ $L = 12 - 18\text{ m}$ | dřevo, ocel, beton                    |
| ▪ $L > 18\text{ m}$      | ocel                                  |

Z hlediska celkových nákladů a rychlosti výstavby mají ocelové haly přednost. U hal větších rozměrů a více zatížených dominuje pevnost oceli. Obecnou výhodou ocelových hal je možnost snadné rekonstrukce při změnách provozu a možnosti využití materiálu po skončení provozu budovy.

Návrh haly musí kromě bezpečnosti a stability splňovat také požadavky na trvanlivost. Je tudíž nutné zabezpečit povrchovou ochranu konstrukce z hlediska koroze. U většiny halových objektů je provoz takového charakteru, že nebezpečí koroze je malé a povrchová ochrana může být minimální. I z hlediska požáru je ochrana ocelové konstrukce obvykle nenáročná, protože evakuace o objektu je velmi rychlá.

Podle účelu využití v průmyslovém odvětví lze haly rozdělit následovně:

- Průmyslové haly s jeřáby (slouží pro výrobu nebo jako skladiště).
- Lehké haly bez jeřábů (slouží zejména pro zemědělské účely nebo pro různé lehké provozy)

Konstrukční systém hal ve velké míře závisí především na rozpětí. Pro konstrukci je rozhodující způsob přenesení zatížení působícího svisle nebo kolmo na střešní rovinu. Pro velká rozpětí se obvykle používají speciální systémy (velkorozponové nosníky, zavěšené a visuté konstrukce, využívá se prostorového chování konstrukce atd.), zatímco pro běžná rozpětí (cca do 30 m) se obvykle vystačí s plnostěnnou nebo příhradovou rovinnou konstrukcí.

## 2.1 DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ HAL

### 2.1.1 Skladba konstrukce

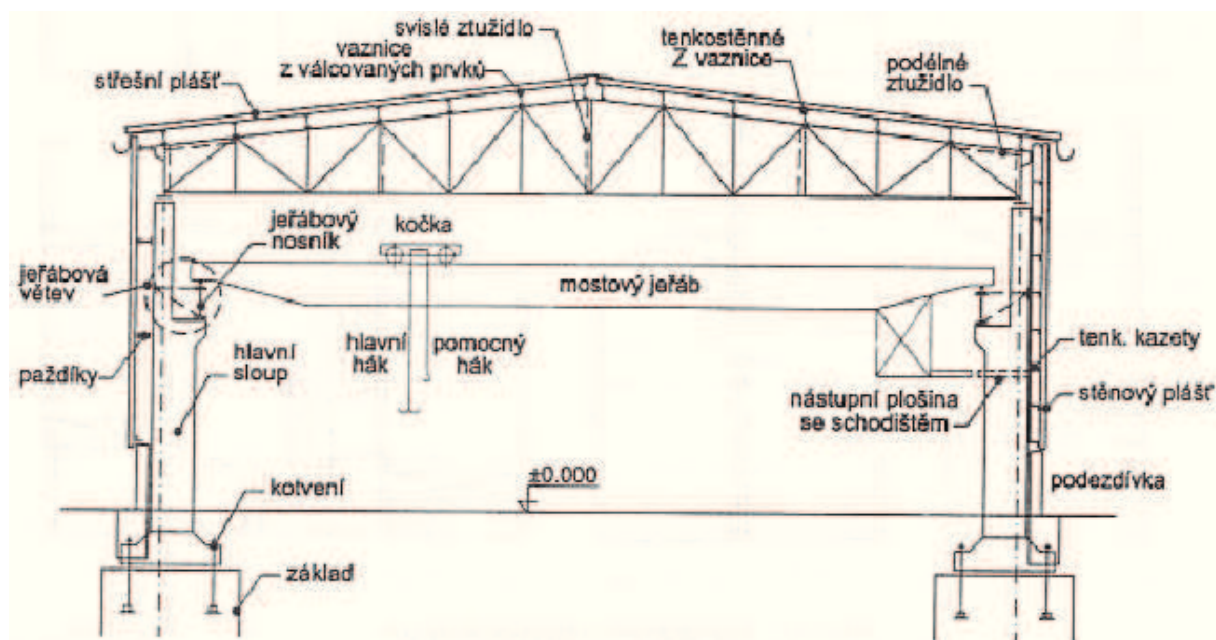
Ocelová konstrukce haly je v podstatě složitá prostorová soustava složená z řady nosných prvků a dílců.

Hlavními částmi konstrukce jsou:

- Střešní konstrukce (vazníky, průvlaky, vaznice, krokve, apod.).
- Hlavní sloupy budovy včetně kotvení.
- Ztužidla.
- Konstrukce obvodových a vnitřních stěn.
- U jeřábových hal jeřábové dráhy.
- Doplnkové konstrukce (plošiny, schody, světlíky, apod.).

Hlavním nosným systémem haly jsou příčné vazby tvořené rámovou konstrukcí nebo sloupy se střešními vazníky. Štítové stěny se před příčnou vazbu zpravidla předsazují. Tuhost haly v příčném směru je tedy zabezpečena tuhostí samotných příčných vazeb.

Tuhost haly v podélném směru zajišťuje vertikální ztužení (tzv. větrové ztužidlo) stěn haly. Konstrukce obvodových stěn se obvykle skládá ze silikátového nebo kovoplastického pláště, vodorovných podpůrných paždíků (plášť a paždíky může nahradit samonosný plášť z panelů nebo kazet) a sloupků. Další prvky lemují okna a vrata (překlady, pomocné sloupky) a ve zvláštních případech může mít konstrukce stěny vlastní diagonální ztužení (např. předsazená štítová stěna).



Obr. 12: Příklad příčné vazby haly.

Střešní konstrukce je složená ze střešního pláště, vaznic, vazníků, průvlaků a celé řady ztužidel, která zabezpečují její prostorovou tuhost. Střecha musí být navržena s ohledem na působící vlivy vnějšího i vnitřního prostředí. Střechu tvoří dvě hlavní části - nosná střešní konstrukce a střešní plášť. Střešní plášť pak tvoří hydroizolační vrstvy, tepelněizolační vrstvy, nosná vrstva střešního pláště a doplňkové vrstvy (např. dilatační vrstva, separační vrstva apod.) Nosná konstrukce střechy přenáší veškerá zatížení vlastní tíhou, stálá a nahodilá zatížení do dalších nosných částí objektu. Nosnou konstrukci střechy můžou tvořit vazníky, vaznice, ztužidla a krokve či průvlak. Střešní ztužidla hrají v konstrukci nemalou roli. Plní především funkci tvarové neměnnosti prostorové či rovinné soustavy, zajišťují tvar a geometrii konstrukce, zabezpečují tlačené prvky proti vybočení, zabezpečují spolupůsobení hlavních nosných prvků.

Příčná vazba halového objektu může být sloupová, rámová, oblouková nebo jejich kombinace. Sloupová příčná vazba je tvořena vazníkem, který je kloubově uložen na nosných sloupech, které jsou vetknuty do základových patek. Sloupy pak mohou být příhradové či plnostěnné.

Základové patky zajišťují přenesení veškerého zatížení z haly do základové půdy. Kotvení sloupů do patek může být provedeno různými způsoby. Především se jedná o kloubové uložení a vetknutí.

Nosnou konstrukci obvodových a vnitřních stěn tvoří svislé nosné prvky (sloupy) a vodorovné nosné prvky (paždíky, překlady a vodorovné výztužné nosníky).

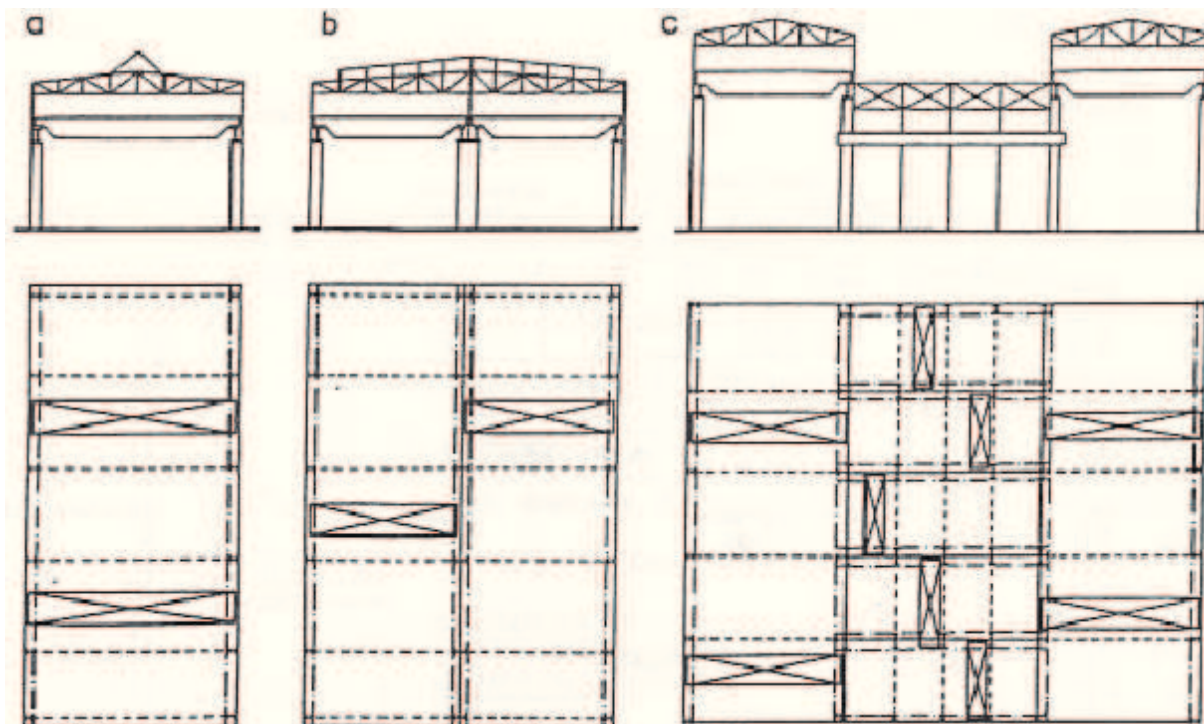
### 2.1.2 Dispoziční uspořádání

Dispoziční uspořádání určují především provozní požadavky a to hlavně požadavky na vnitřní komunikace.

Běžná uspořádání jsou:

- Jednolodní haly (obr. 13 – a).
- Vícelodní haly se souběžnými loděmi (obr. 13 – b).
- Haly s kolmými loděmi (obr. 13 – c).





*Obr. 13: Dispoziční uspořádání halových objektů.*

Lodí se rozumí část objektu vymezená dvěma souběžnými řadami sloupů. U hal s jeřáby probíhá v jedné lodi transportní cesta. Loď se skládá z několika polí. Pole je část lodě vymezená protilehlými dvojicemi sloupů.

Dispoziční uspořádání hal se má řešit v souladu s modulovou koordinací rozměrů ve výstavbě, čímž se usnadňuje návaznost různých stavebních konstrukčních prvků. U hal projektovaných na objednávku však mívají přednost konkrétní rozměrové požadavky investora.

## 2.2 OBRÁZKOVÉ PŘÍKLADY PRŮMYSLOVÝCH HAL



*Obr. 14: Skladovací hala v Břeclavi s ocelovou rámovou konstrukcí.*



*Obr. 15: Pohled na kostru skladovací haly s ocelovou rámovou konstrukcí.*





Obr. 16: Výrobní hala Horní Počernice.

### 3 NÁVRH ŘEŠENÉ HALY

Návrh dispozice řešené haly vychází z dispozice původní haly, která se nachází v areálu Vítkovice Heavy Machinery, a.s. Při návrhu jde o zachování prostorové dispozice haly, která slouží pro expedici produktů.

Hala je navržena jako dvoulodní se stejnou šířkou obou lodí, ale s různou výškou. V obou lodích se nachází jeřábové dráhy pro středně těžké jeřáby. Na každé dráze se bude pohybovat pouze jeden jeřáb o nosnosti 12,5 tuny.

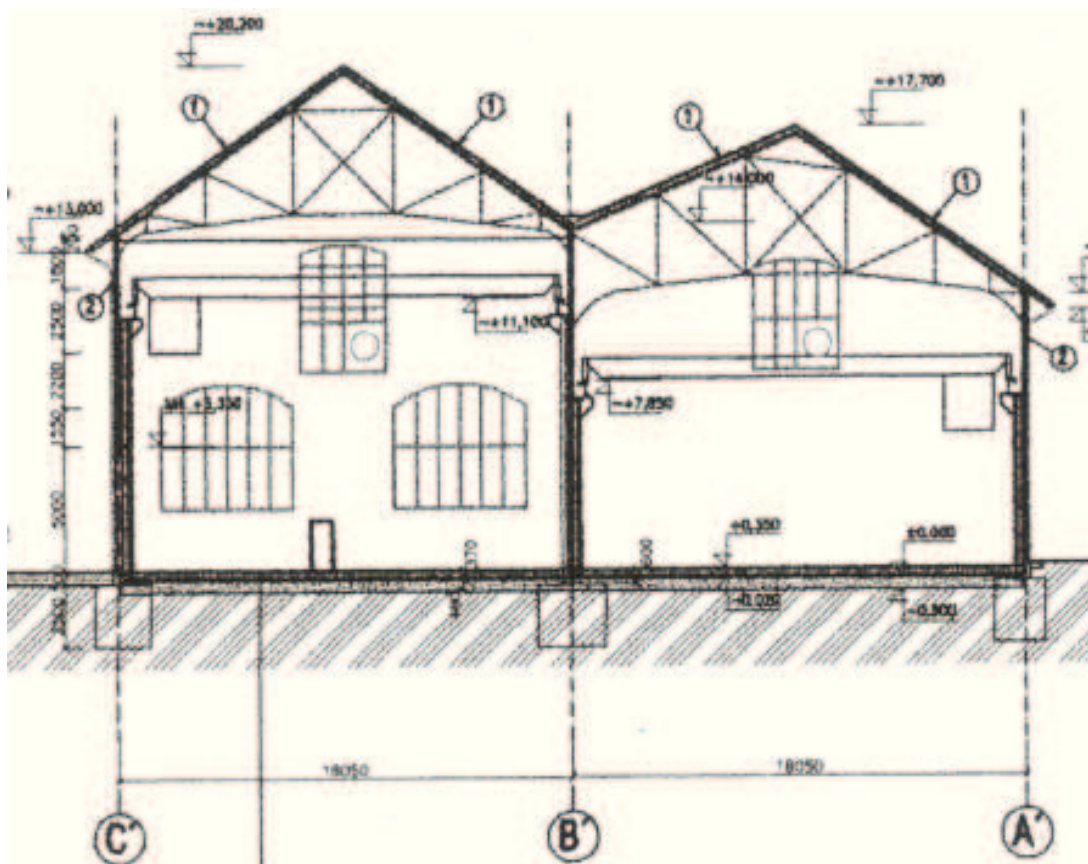
Nosná konstrukce haly je navržena jako rámová s rozpětím 2 x 18 metrů. Podélný modul umístění jednotlivých ráků je zachován jako v původní hale a činí 10,3 metrů. Těchto ráků se v hale nachází celkem 19, celková délka haly tedy je 185,4 metrů. Výška vyšší lodi od podlahy po hřeben je 14,741 metrů. Výška nižší lodi pak je 11,741 metrů.

Jeřábové dráhy jsou umístěny rovněž v různých výškách. Ve vyšší lodi se hlava kolejnice nachází ve výšce 11,495 metrů od úrovně čisté podlahy. V nižší lodi je to pak 8,495 metrů. Hala je výškově navržena tak, aby byl nad jeřábovými drahami zachován průjezdný profil jeřábů.

Obvodový stěnový plášť je navržěn ze stěnových kazet s tepelnou izolací od firmy Kovové profily. Vnější vrstva stěnového pláště bude provedena z trapézových plechů. Nosná konstrukce střešního pláště je navržena tak, že zatížení od střešního pláště se bude přenášet prostřednictvím trapézových plechů do tenkostěnných „Z“ vaznic a odtud do hlavní nosné konstrukce, tedy do ráků.



Statické působení jednotlivých ráků je voleno, vzhledem k velkému zatížení, se sloupy s vetknutou patkou a bez kloubového působení ve vrcholu příčl.



Obr. 17: Příčné uspořádání původní expediční haly.

#### 4 ZPŮSOB VÝPOČTU VNITŘNÍCH SIL A POSOUZENÍ PRUTŮ

Pro výpočet vnitřních sil v jednotlivých prutech konstrukce je použit výpočetní program Nexis ve verzi 3.60.15, který počítá pomocí metody konečných prvků.

Výpočtový model konstrukce haly je volen jako rovinný. Modelován je rám, který je nejvíce zatížen klimatickými vlivy a pojezdem jeřábů. Další prvky, jako jsou ztužidla, jsou modelovány zvlášť. Zatížení, působící na rám, je přepočítáno ze zatěžovací šířky rámu a je zadáno jako osamělá břemena (reakce od „Z“ vaznic ze střeby) působící na příčel a jako spojitá zatížení působící na sloup. Jako spojitá zatížení je modelována vlastní tíha jednotlivých prvků. Zatížení od jeřábů je modelováno jako osamělá břemena (reakce jeřábových drah), která působí svisle na konzolu jeřábové dráhy (svislá reakce jeřábové dráhy), nebo vodorovně na sloup v místě připojení vodorovného výztužného nosníku (vodorovná příčná reakce jeřábové dráhy).



Při výpočtu byly jednotlivé prvky navrhovány a posuzovány podle následujících norem:

- ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- ČSN EN 1991-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 3: Zatížení od jeřábů a strojního vybavení
- ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1993-1-3 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-3: Obecná pravidla – Doplnující pravidla pro tenkostěnné za studena tvarované prvky a plošné profily
- ČSN EN 1993-1-9 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-9: Únava
- ČSN EN 1993-6 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 6: Jeřábové dráhy
- ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Spoje

## 5 FYZIKÁLNÍ VELIČINY A ZNAČKY POUŽITÉ VE STATICKÉM VÝPOČTU

$b$	šířka průřezu
$c$	šířka nebo výška části průřezu
$d$	jmenovitý průměr šroubu
$d_0$	průměr díry pro šroub
$e_0$	největší amplituda imperfekce ve tvaru počátečního prohnutí prvku
$e_1$	vzdálenost středů otvorů spojovacích prostředků k přilehlému konci jakékoliv části, která se měří ve směru zatížení
$e_2$	vzdálenost středů otvorů spojovacích prostředků k přilehlému konci jakékoliv části, která se měří kolmo ke směru zatížení
$f_y$	mez kluzu oceli
$f_u$	pevnost oceli v tahu
$h$	výška průřezu
$i$	poloměr setrvačnosti neoslabeného průřezu k příslušné ose
$l$	délka
$l_{eff}$	účinná délka
$m$	počet sloupů v řadě, sklon křivky únavové pevnosti



$p_1$	rozteč spojovacích prostředků ve směru zatížení
$p_2$	rozteč spojovacích prostředků kolmo na směr zatížení
$r$	poloměr zaoblení
$r_1$	poloměr zaoblení přechodu pásnice a stojiny profilu
$t_w$	tloušťka stojiny
$t_f$	tloušťka pásnice
$t$	tloušťka
$A_{eff}$	účinná plocha
$A_{net}$	plocha oslabeného průřezu
$E$	modul pružnosti materiálu v tahu a tlaku
$F_{b,Rd}$	návrhová únosnost šroubu v otláčení
$F_{t,Rd}$	návrhová únosnost šroubu v tahu
$F_{V,Rd}$	návrhová únosnost šroubu ve střihu
$G$	modul pružnosti materiálu ve smyku
$I$	moment setrvačnosti průřezu
$L$	délka prutu
$L_{cr}$	vzpěrná délka
$M_{c,Rd}$	návrhová únosnost v ohybu k některé hlavní ose průřezu
$M_{Ed}$	návrhový ohybový moment
$N_{c,Rd}$	návrhová únosnost průřezu v prostém tlaku
$N_{Ed}$	návrhová hodnota normálové síly
$N_{t,Rd}$	návrhová únosnost v tahu
$N_{pl,Rd}$	návrhová plastická únosnost neoslabeného průřezu v tahu
$R_d$	návrhová hodnota únosnosti
$R_k$	charakteristická hodnota únosnosti
$S$	statický moment průřezu
$V_{Ed}$	návrhová smyková síla
$V_{c,Rd}$	návrhová únosnost ve smyku
$V_{pl,Rd}$	návrhová plastická únosnost ve smyku
$W_{pl}$	plastický modul průřezu
$W_{el}$	pružný modul průřezu
$\alpha$	podíl tlačené části průřezu
$\alpha_h$	redukční součinitel pro sloupy, který závisí na výšce $h$
$\alpha_m$	redukční součinitel pro počet sloupů v řadě



$\gamma_M$	globální dílčí součinitel spolehlivosti (materiálu)
$\gamma_{M0}$	dílčí součinitel únosnosti průřezu kterékoliv třídy
$\gamma_{M1}$	dílčí součinitel únosnosti průřezu při posuzování stability prutu
$\gamma_{M2}$	dílčí součinitel únosnosti průřezu při porušení v tahu
$\gamma_G$	dílčí součinitel spolehlivosti stálých zatížení
$\gamma_Q$	dílčí součinitel spolehlivosti proměnných zatížení
$\delta$	průhyb
$\varepsilon$	poměrné přetvoření
$\phi$	imperfekce ve tvaru globálního počátečního naklonění
$\phi_0$	základní hodnota imperfekce ve tvaru počátečního naklonění
$\bar{\lambda}$	poměrná štíhlost
$\sigma$	normálové napětí
$\chi$	součinitel vzpěrnosti pro příslušnou křivku vzpěrné pevnosti
$\psi$	poměr napětí nebo poměrných přetvoření
$\varphi_i$	dynamický součinitel
$\Delta\sigma$	rozkmit napětí (normálových)
$\Delta\tau$	rozkmit napětí (smykových)
$\Delta\sigma_E, \Delta\tau_E$	ekvivalentní konstantní rozkmit napětí
$\Delta\sigma_C, \Delta\tau_C$	referenční únavová pevnost
$\Delta\sigma_D, \Delta\tau_D$	mez únavy pro konstantní rozkmit napětí
$\Delta\sigma_L, \Delta\tau_L$	prahový rozkmit napětí
$\gamma_{Ff}$	dílčí součinitel spolehlivosti průřezu pro ekvivalentní konstantní rozkmit napětí
$\gamma_{Mf}$	dílčí součinitel spolehlivosti únavové pevnosti
$\lambda_i$	součinitel ekvivalentního poškození
$k_f$	součinitel koncentrace napětí

## 6 JEŘÁBOVÁ DRÁHA

### 6.1 PARAMETRY JEŘÁBU

- Nosnost: 12,5 t
- Rozpětí lodi (L): 18 m
- Rozpětí jeřábu (l): 16,6 m
- Rozvor kol (a): 3 740 mm
- Hmotnost jeřábu bez kočky: 13,9 t
- Hmotnost kočky: 3,1 t
- Tlak kola jeřábu bez kočky ( $Q_{c,k}$ ): 34,75 kN
- Dojezdová vzdálenost kočky: 1 200 mm
- Vedení pomocí nákolků kol, pohon jednotlivých kol, kombinace kol IFF podle ČSN EN 1991-3
- Kolejnice JKL 55 připojená pomocí přílozek
- Rychlost zdvihu ( $v_h$ ): 0,267 m/s
- Kategorie jeřábu podle tabulky B.1 (v ČSN EN 1991-3, příloha B) – dílenský jeřáb, kategorie zvedacích zařízení HC3, únavová kategorie S3

### 6.2 URČENÍ DYNAMICKÝCH SOUČINITELŮ

Tab. 1: Různé druhy dynamických součinitelů  $\varphi_i$ .

Dynamický součinitel	Uvažované účinky	Použije se pro
$\varphi_1$	– buzení vibrací konstrukce jeřábu při zvednutí zatížení kladkostroje ze země	vlastní tíhu jeřábu
$\varphi_2$ nebo $\varphi_3$	– dynamické účinky zatížení kladkostroje při zvedání ze země k jeřábu – dynamický účinek náhlého uvolnění užitečného zatížení, jestliže jsou použity např. drapáky nebo magnety	zatížení kladkostroje
$\varphi_4$	– dynamické účinky, vznikající při pojezdu na kolejích nebo jeřábových drahách	vlastní tíhu jeřábu a zatížení kladkostroje
$\varphi_5$	– dynamické účinky vyvolané hnacími silami	hnací síly
$\varphi_6$	– dynamické účinky zkušebního zatížení, které se pohybuje po dráze jeřábu pomocí pohonů	zkušební zatížení
$\varphi_7$	– dynamický pružný účinek nárazu na nárazníky	síly na nárazníky

Tab. 2: Druhy dynamických součinitelů  $\varphi_i$  pro svislá zatížení.

$\varphi_1$	$0,9 < \varphi_1 < 1,1$ Dvě hodnoty, $\varphi_1 = 1,1$ a $\varphi_1 = 0,9$ , vyjadřují horní a dolní hodnoty rázového zatížení.
$\varphi_2$	$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 v_h$ $v_h$ je ustálená rychlost zvedání v [m/s]; $\varphi_{2,min}$ a $\beta_2$ jsou v tabulce 2.5.
$\varphi_3$	$\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta m}{m} (1 + \beta_3)$ kde $\Delta m$ je uvolněná nebo upuštěná část hmotnosti zvedané kladkostrojem; $m$ celková hmotnost zvedané kladkostrojem; $\beta_3 = 0,5$ pro jeřáby s drapáky nebo podobnými zařízeními pro pomalé uvolnění; $\beta_3 = 1,0$ pro jeřáby osazené magnety nebo podobnými zařízeními pro rychlé uvolnění.
$\varphi_4$	$\varphi_4 = 1,0$ za předpokladu, že jsou dodrženy tolerance kolejových tratí podle EN 1993-6.
POZNÁMKA Pokud nejsou dodrženy tolerance kolejových tratí podle EN 1993-6, dynamický součinitel $\varphi_4$ může být stanoven podle modelu uvedeného v EN 13001-2.	

Tab. 3: Hodnoty  $\beta_2$  a  $\varphi_{2,min}$ .

Třída zvedacích zařízení	$\beta_2$	$\varphi_{2,min}$
HC1	0,17	1,05
HC2	0,34	1,10
HC3	0,51	1,15
HC4	0,68	1,20

Tab. 4: Hodnoty součinitele  $\varphi_5$ .

Hodnoty dynamického součinitele $\varphi_5$	Specifické použití
$\varphi_5 = 1,0$	pro odstředivé síly
$1,0 \leq \varphi_5 \leq 1,5$	pro systémy, kde se síly mění pozvolna
$1,5 \leq \varphi_5 \leq 2,0$	v případech, kdy mohou nastat neočekávané změny
$\varphi_5 = 3,0$	pro pohony s velkými vůlemi

$$\varphi_{1,max} = 1,1$$

$$\varphi_{1,min} = 0,9$$

$$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 * v_h = 1,15 + 0,51 * 0,267 = 1,286$$

$$\varphi_3 = 1 \text{ (pro zvedání břemene pomocí háku)}$$

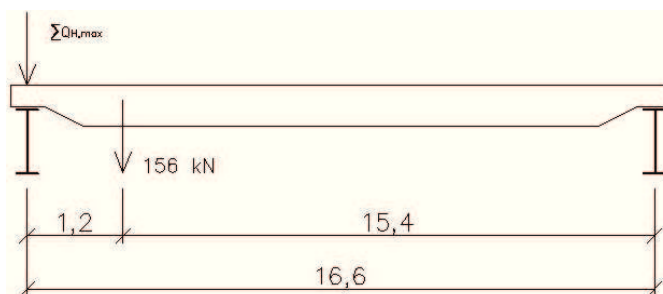
$$\varphi_4 = 1$$

$$\varphi_5 = 1,5$$

### 6.3 SVISLÉ ZATÍŽENÍ

#### 6.3.1 Zatížení od kladkostroje

Tíha kočky + břemene = 31+125 = 156 kN (hmotnost kočky 3,1 t ; nosnost jeřábu 12,5 t)

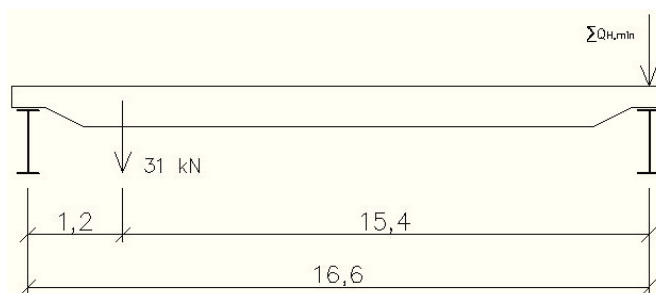


Obr. 18: Rozmístění sil na mostu jeřábu.

- zatížení na více zatíženou větev:  $\Sigma Q_{H,max} = 156 * \frac{15,4}{16,6} = 144,723 \text{ kN}$
- na jedno kolo:  $Q_{H,max} = \frac{144,723}{2} = 72,362 \text{ kN}$



Tíha samotné kočky = 31 kN



Obr. 19: Rozmístění sil na mostu jeřábu.

- zatížení na méně zatíženou větev:  $\Sigma Q_{H,min} = 31 * \frac{1,2}{16,6} = 2,241 \text{ kN}$
- na jedno kolo:  $Q_{H,min} = \frac{2,241}{2} = 1,121 \text{ kN}$

### 6.3.2 Celkové svislé síly

#### 6.3.2.1 Maximální zatížení:

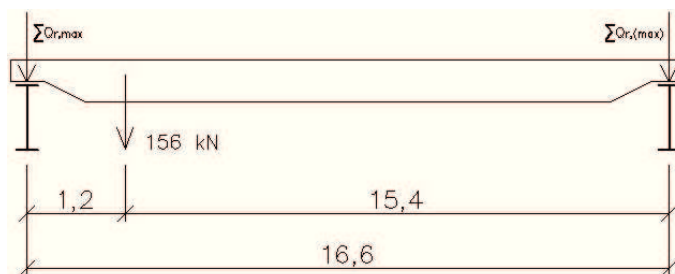
Tíha břemene je rovna nosnosti jeřábu.

- Maximální zatížení vyvolané zatíženým jeřábem na jednu větev jeřábové dráhy:

$$\Sigma Q_{r,max} = 2 * Q_{c,k} + \Sigma Q_{H,max} = 2 * 34,75 + 144,723 = 214,223 \text{ kN}$$

- Doprovodné zatížení vyvolané zatíženým jeřábem na druhou větev jeřábové dráhy:

$$\Sigma Q_{r,(max)} = 2 * Q_{c,k} + (156 - \Sigma Q_{H,max}) = 2 * 34,75 + (156 - 144,723) = 80,78 \text{ kN}$$



Obr. 20: Rozmístění sil od zatížení zatíženým jeřábem.

#### 6.3.2.2 Minimální zatížení:

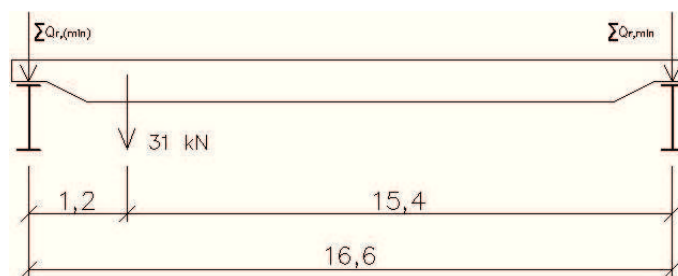
Síly od tíhy jeřábu bez břemene.

- Minimální zatížení vyvolané nezatíženým jeřábem na jednu větev jeřábové dráhy:

$$\Sigma Q_{r,min} = 2 * Q_{c,k} + \Sigma Q_{H,min} = 2 * 34,75 + 2,241 = 71,741 \text{ kN}$$

- Doprovodné zatížení vyvolané nezatíženým jeřábem na druhou větev jeřábové dráhy:

$$\Sigma Q_{r,(min)} = 2 * Q_{c,k} + (31 - \Sigma Q_{H,min}) = 2 * 34,75 + (31 - 2,241) = 98,26 \text{ kN}$$



Obr. 21: Rozmístění sil od zatížení nezatíženým jeřábem.

## 6.4 VODOROVNÉ ZATÍŽENÍ OD ZRYCHLENÍ A ZPOMALENÍ

Zatížení vznikající vlivem zrychlení a zpomalení mostového jeřábu.

### 6.4.1 Hnací síla (K)

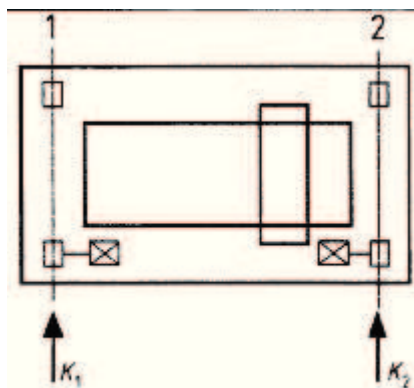
Hnací síla je obvykle získána od dodavatele jeřábu, nebo ji lze získat, jako zde, výpočtem podle ČSN EN 1991-3.

- Počet hnaných kol:  $m_w = 2$
- Součinitel tření (ocel – ocel):  $\mu = 0,2$
- Kola jsou poháněna vlastními pohonnými jednotkami  $\Rightarrow \Sigma Q_{r,min}^*$

Hnací síla na jedno kolo:

$$\Sigma Q_{r,min}^* = m_w \cdot Q_{r,min} = 2 \cdot 71,741 = 143,48 \text{ kN}$$

$$K = \mu \cdot \Sigma Q_{r,min}^* = 0,2 \cdot 143,48 \cdot \frac{1}{2} = 14,3 \text{ kN}$$



Obr. 22: Hnací síla od nezávisle poháněných kol.

### 6.4.2 Síly v podélném směru (H<sub>L</sub>)

Síly způsobené zrychlením nebo zpomalením jeřábových konstrukcí vlivem působení hnací síly na styčné ploše mezi kolejnicí a hnacím kolem za předpokladu, že nedochází k prokluzu kol po kolejnici.

- Počet nosníků jeřábové dráhy:  $n_r = 2$

$$H_{L,k} = \varphi_5 \cdot K \cdot \frac{1}{n_r} = 1,5 \cdot 14,3 \cdot \frac{1}{2} = 10,7 \text{ kN}$$



### 6.4.3 Síly v příčném směru ( $H_{T,i}$ )

Vlivem působení hnací síly vzniká moment  $M$ , který je udržován v rovnováze vodorovnými příčnými silami  $H_{T,1}$  a  $H_{T,2}$ . Situace je patrna na obr. 23.

$$\sum Q_r = \sum Q_{r,max} + \sum Q_{r,(max)} = 214,223 + 80,78 = 295 \text{ kN}$$

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,max}}{\sum Q_r} = \frac{214,223}{295} = 0,726$$

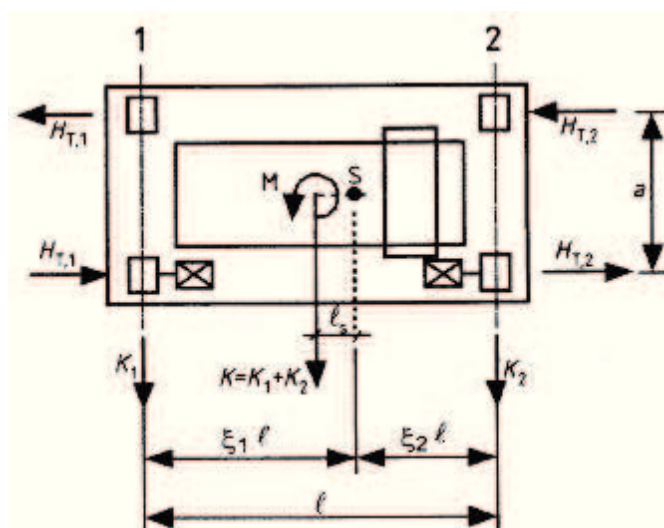
$$\xi_2 = 1 - \xi_1 = 1 - 0,726 = 0,274$$

$$l_s = (\xi_1 - 0,5) \cdot l = (0,726 - 0,5) \cdot 16,6 = 3,75 \text{ m}$$

$$M = K \cdot l_s = 14,3 \cdot 3,75 = 53,63 \text{ kNm}$$

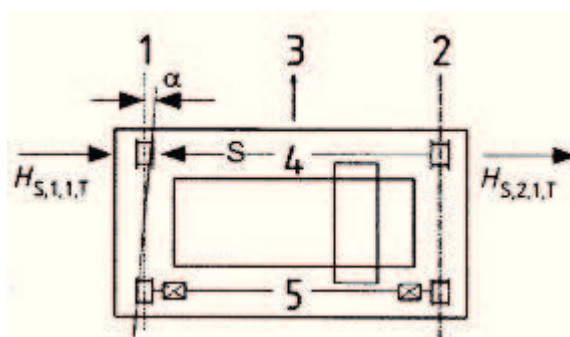
$$H_{T,1,k} = \varphi_5 \cdot \xi_2 \cdot \frac{M}{a} = 1,5 \cdot 0,274 \cdot \frac{53,63}{3,74} = 5,89 \text{ kN}$$

$$H_{T,2,k} = \varphi_5 \cdot \xi_1 \cdot \frac{M}{a} = 1,5 \cdot 0,726 \cdot \frac{53,63}{3,74} = 15,62 \text{ kN}$$



Obr. 23: Definice sil v příčném směru.

### 6.5 VODOROVNÉ ZATÍŽENÍ ( $H_S$ ) A SÍLA NA VEDENÍ ( $S$ ) OD PŘÍČENÍ JEŘÁBU



Obr. 24: Síly od příčeni s vedením pomocí nálokků kol.

### 6.5.1 Úhel přičení ( $\alpha$ ) a součinitel reakcí při přičení ( $f$ )

Úhel přičení se stanovuje s uvažováním mezery mezi vodícími prostředky a kolejnicí a také podle přiměřené odchylky a opotřebení kol a kolejnic.

#### 6.5.1.1 Úhel přičení:

$$\alpha = \alpha_F + \alpha_v + \alpha_0 \leq 0,015 \text{ rad}$$

Tab. 5: Definice  $\alpha_F$ ,  $\alpha_v$  a  $\alpha_0$

Úhly $\alpha_i$	Minimální hodnoty $\alpha_i$
$\alpha_F = \frac{0,75 x}{a_{ext}}$	$0,75x \geq 5 \text{ mm}$ pro vodící kladky $0,75x \geq 10 \text{ mm}$ pro nákolky kol
$\alpha_v = \frac{y}{a_{ext}}$	$y \geq 0,03b$ [mm] pro vodící kladky $y \geq 0,10b$ [mm] pro nákolky kol
$\alpha_0$	$\alpha_0 = 0,001$
Kde $a_{ext}$ je mezera mezi vodícími kladkami nebo nákolky kol; $b$ šířka hlavy kolejnice; $x$ vůle mezi kolejnicí a vodícími prostředky (příčný prokluz); $y$ opotřebení kolejnice a vodících prostředků; $\alpha_0$ tolerance směru kol a kolejnic.	

$$\alpha_F = \frac{0,75 x}{a_{ext}} = \frac{0,01}{3,74} = 0,0027$$

$$\alpha_v = \frac{y}{a_{ext}} = \frac{0,0055}{3,74} = 0,0015$$

$$\alpha = 0,0027 + 0,0015 + 0,001 = 0,0052 \text{ rad} \leq 0,015 \text{ rad} \dots \text{ Vyhovuje}$$

#### 6.5.1.2 Součinitel reakcí:

$$f = 0,3 * (1 - e^{-250 * \alpha}) \leq 0,3$$

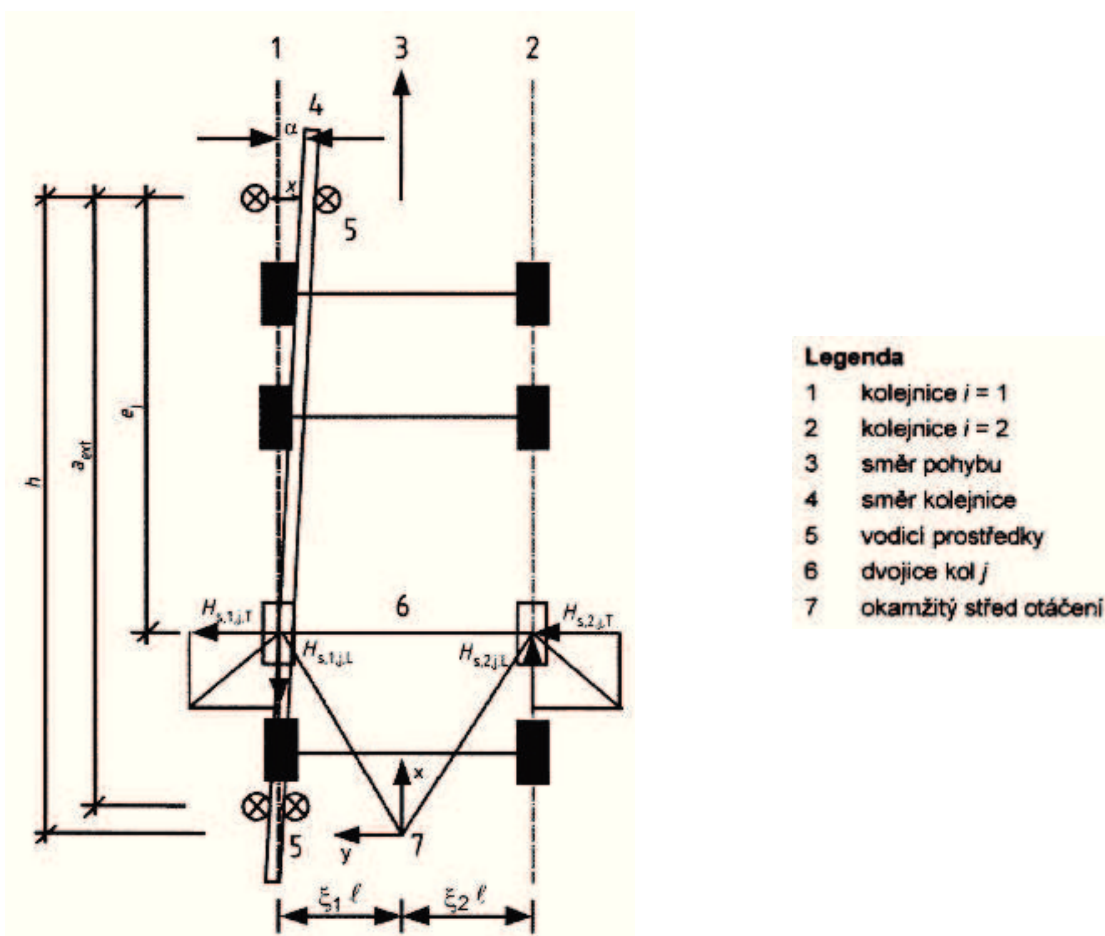
$$f = 0,3 * (1 - e^{-250 * 0,0052}) = 0,218 \leq 0,3 \dots \text{ Vyhovuje}$$

### 6.5.2 Vzdálenost středu otáčení ( $h$ )

Vzdálenost mezi okamžitým středem otáčení a příslušnými vodícími prostředky, kterými jsou přední vodící prostředky ve směru pohybu, jak je definováno na 25.

- Kombinace kol IFF:  $m=0$  (počet spojených dvojic kol)
- Vedení pomocí nákolů kol:  $e_1 = 0 \text{ m}$   
 $e_2 = a = 3,74 \text{ m}$

$$h = \frac{m * \xi_1 * \xi_2 * l^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j} = \frac{0 + 3,74^2}{3,74} = 3,74 \text{ m}$$



Obr. 25: Definice úhlu  $\alpha$  a vzdálenosti  $h$ .

### 6.5.3 Součinitele sil ( $\lambda$ )

Součinitele sil  $\lambda_{s,i,j,k}$  závisí na kombinaci dvojic kol a na vzdálenosti  $h$  a určí se podle tabulky 2.9 – Definice hodnot  $\lambda_{s,i,j,k}$  v ČSN EN 1991-3.

- $i$  = číslo dráhy
- $j$  = číslo kola
- Počet dvojic kol:  $n = 2$
- První dvojice kol:  $e_1 = 0$  m
- Druhá dvojice kol:  $e_2 = 3,74$  m

$$\lambda_{s,j} = 1 - \frac{\sum e_j}{n \cdot h} = 1 - \frac{3,74}{2 \cdot 3,74} = 0,5$$

$$\lambda_{s,1,1,L} = \lambda_{s,1,2,L} = 0$$

$$\lambda_{s,1,1,T} = \frac{\xi_2}{n} \left( 1 - \frac{e_1}{h} \right) = \frac{0,274}{2} \left( 1 - \frac{0}{3,74} \right) = 0,137$$

$$\lambda_{s,1,2,T} = \frac{\xi_2}{n} \left( 1 - \frac{e_2}{h} \right) = \frac{0,274}{2} \left( 1 - \frac{3,74}{3,74} \right) = 0$$

$$\lambda_{s,2,1,L} = \lambda_{s,2,2,L} = 0$$

$$\lambda_{s,2,1,T} = \frac{\xi_1}{n} \left( 1 - \frac{e_1}{h} \right) = \frac{0,726}{2} \left( 1 - \frac{0}{3,74} \right) = 0,363$$

$$\lambda_{s,2,2,T} = \frac{\xi_1}{n} \left( 1 - \frac{e_2}{h} \right) = \frac{0,726}{2} \left( 1 - \frac{3,74}{3,74} \right) = 0$$

#### 6.5.4 Výpočet sil

$$\sum Q_r = \sum Q_{r,max} + \sum Q_{r,(max)} = 214,223 + 80,78 = 295 \text{ kN}$$

$$S = f * \lambda_{s,j} * \sum Q_r = 0,218 * 0,5 * 295 = 32 \text{ kN}$$

$$H_{s,1,1,L} = f * \lambda_{s,1,1,L} * \sum Q_r = 0$$

$$H_{s,1,2,L} = f * \lambda_{s,1,2,L} * \sum Q_r = 0$$

$$H_{s,2,1,L} = f * \lambda_{s,2,1,L} * \sum Q_r = 0$$

$$H_{s,2,2,L} = f * \lambda_{s,2,2,L} * \sum Q_r = 0$$

$$H_{s,1,1,T} = f * \lambda_{s,1,1,T} * \sum Q_r = 0,218 * 0,137 * 295 = 8,81 \text{ kN}$$

$$H_{s,2,1,T} = f * \lambda_{s,2,1,T} * \sum Q_r = 0,218 * 0,363 * 295 = 23,34 \text{ kN}$$

$$H_{s,1,2,T} = f * \lambda_{s,1,2,T} * \sum Q_r = 0 \text{ kN}$$

$$H_{s,2,2,T} = f * \lambda_{s,2,2,T} * \sum Q_r = 0 \text{ kN}$$

6.5.4.1 Výsledné síly působící na nosníky jeřábové dráhy:

$$H_{s,1,T,k} = S - H_{s,1,1,T} = 28,76 - 7,88 = 23,34 \text{ kN}$$

$$H_{s,2,T,k} = H_{s,2,1,T} = 23,34 \text{ kN}$$

Působení sil je zobrazeno na obr. 24.

#### 6.6 VODOROVNÉ ZATÍŽENÍ OD ZRYCHLENÍ NEBO ZPOMALENÍ KOČKY ( $H_T$ )

Zatížení je odvozeno od síly vzniklé při nárazu kočky na nárazníky a je reprezentováno deseti procenty zatížení kladkostroje.

$$H_{T,3} = 0,1 * (\text{nosnost} + \text{hm. kočky})$$

$$H_{T,3} = 0,1 * (125 + 31) = 15,6 \text{ kN}$$

Rozdělení síly na jednotlivá kola se zohledněním polohy kladkostroje:

$$H_{T,3,1,k} = \frac{15,6}{2} * \frac{15,4}{16,6} = 7,24 \text{ kN}$$

$$H_{T,3,2,k} = \frac{15,6}{2} * \frac{1,2}{16,6} = 0,56 \text{ kN}$$

## 6.7 REKAPITULACE ZATÍŽENÍ PODLE JEDNOTLIVÝCH SKUPIN

Rozhodující skupiny zatížení se určují podle tab. 6.

Tab. 6: Skupiny zatížení a dynamických součinitelů.

		Značka	Kapitola	Skupina zatížení									
				Mezní stav únosnosti							Zkušební zatížení	Mimořádná	
				1	2	3	4	5	6	7			
1	Vlastní tíha jeřábu	$Q_C$	2.6	$\varphi_1$	$\varphi_1$	1	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\varphi_4$	1	$\varphi_1$	1	1
2	Zatížení kladkostroje	$Q_H$	2.6	$\varphi_2$	$\varphi_3$	-	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\eta^{1)}$	-	1	1
3	Zrychlení mostu jeřábu	$H_L, H_T$	2.7	$\varphi_5$	$\varphi_5$	$\varphi_5$	$\varphi_5$	-	-	-	$\varphi_5$	-	-
4	Příčení mostu jeřábu	$H_S$	2.7	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
5	Zrychlení nebo brzdění kočky nebo pojízdného kladkostroje	$H_{T3}$	2.7	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
6	Vítr při provozu	$F_W^*$	Příloha A	1	1	1	1	1	-	-	1	-	-
7	Zkušební zatížení	$Q_T$	2.10	-	-	-	-	-	-	-	$\varphi_6$	-	-
8	Síly na nárazník	$H_B$	2.11	-	-	-	-	-	-	-	-	$\varphi_7$	-
9	Klopné síly	$H_{TA}$	2.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
POZNÁMKA Vítr při provozu – viz příloha A.													
<sup>1)</sup> $\eta$ je část zatížení kladkostroje, která zůstává, když je odstraněno užitečné zatížení, ale není zahrnuta do vlastní tíhy jeřábu.													

Z tabulky 6 a z určení velikosti dynamických součinitelů podle kapitoly 6.2 je patrné, že ze skupin zatížení 1 až 4 bude rozhodovat skupina 1, neboť hodnota použitých dynamických součinitelů je větší, než ve zbylých třech skupinách.

Dále se musí vzít v úvahu skupina zatížení 5 a 6, protože v nich se uvažují síly od příčení jeřábu nebo pojezdu kočky.

$$\begin{aligned} \text{Součinitelé spolehlivosti:} \quad \gamma_{G,sup} &= 1,35 \\ \gamma_{Q,sup} &= 1,35 \end{aligned}$$

### 6.7.1 Skupina zatížení 1

Svislé zatížení:

$$Q_{r,k} = \varphi_1 \cdot Q_{C,k} + \varphi_2 \cdot Q_{H,k} = 1,1 \cdot 34,75 + 1,286 \cdot 72,362 = 131,28 \text{ kN}$$

$$Q_{r,d} = \gamma_{G,sup} \varphi_1 Q_{C,k} + \gamma_{Q,sup} \varphi_2 Q_{H,k} = 1,35 \cdot 1,1 \cdot 34,75 + 1,35 \cdot 1,286 \cdot 72,362 = 177,23 \text{ kN}$$

Vodorovné příčné zatížení:

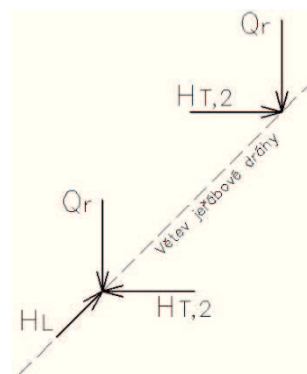
$$H_{T,2,k} = 15,62 \text{ kN}$$

$$H_{T,2,d} = \gamma_{Q,sup} \cdot H_{T,2,k} = 1,35 \cdot 15,62 = 21,09 \text{ kN}$$

Vodorovné podélné zatížení:

$$H_{L,k} = 10,7 \text{ kN}$$

$$H_{L,d} = \gamma_{Q,sup} \cdot H_{L,k} = 1,35 \cdot 10,7 = 14,45 \text{ kN}$$



Obr. 26: Uspořádání sil skupiny 1.

### 6.7.2 Skupina zatížení 5

Svislé zatížení:

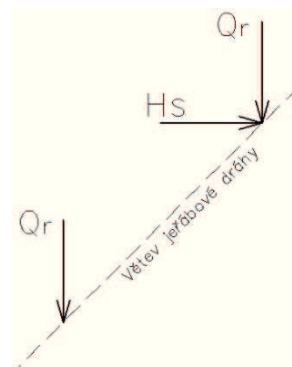
$$Q_{r,k} = \varphi_4 \cdot Q_{C,k} + \varphi_4 \cdot Q_{H,k} = 1 \cdot 34,75 + 1 \cdot 72,362 \\ = 107,11 \text{ kN}$$

$$Q_{r,d} = \gamma_{G,sup} \varphi_4 Q_{C,k} + \gamma_{Q,sup} \varphi_4 Q_{H,k} \\ = 1,35 \cdot 1 \cdot 34,75 + 1,35 \cdot 1 \cdot 72,362 \\ = 144,6 \text{ kN}$$

Vodorovné příčné zatížení:

$$H_{S,k} = H_{S,2,T,k} = 23,34 \text{ kN}$$

$$H_{S,d} = \gamma_{Q,sup} \cdot H_{S,k} = 1,35 \cdot 23,34 = 31,05 \text{ kN}$$



Obr. 27: Uspořádání sil skupiny 5.

### 6.7.3 Skupina zatížení 6

Svislé zatížení:

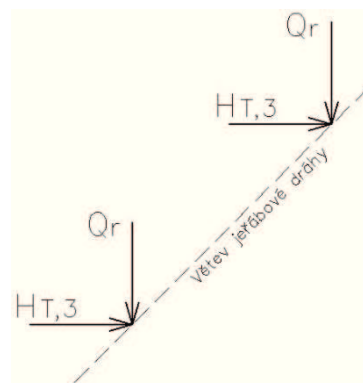
$$Q_{r,k} = \varphi_4 \cdot Q_{C,k} + \varphi_4 \cdot Q_{H,k} = 1 \cdot 34,75 + 1 \cdot 72,362 \\ = 107,11 \text{ kN}$$

$$Q_{r,d} = \gamma_{G,sup} \varphi_4 Q_{C,k} + \gamma_{Q,sup} \varphi_4 Q_{H,k} \\ = 1,35 \cdot 1 \cdot 34,75 + 1,35 \cdot 1 \cdot 72,362 \\ = 144,6 \text{ kN}$$

Vodorovné příčné zatížení:

$$H_{T,3,k} = H_{T,3,1,k} = 7,24 \text{ kN}$$

$$H_{T,3,d} = \gamma_{Q,sup} \cdot H_{T,3,k} = 1,35 \cdot 7,24 = 9,77 \text{ kN}$$



Obr. 28: Uspořádání sil skupiny 6.

## 6.8 HLAVNÍ NOSNÍK JEŘÁBOVÉ DRÁHY

Hlavní nosník je navržen jako svařovaný průřez tvaru I s kolejnicí JKL 55 uloženou na horní pásnici nosníku.

### 6.8.1 Výpočet vnitřních sil

#### 6.8.1.1 Zatížení od kol jeřábu:

Rozhoduje skupina zatížení číslo 1.

Svislé zatížení:

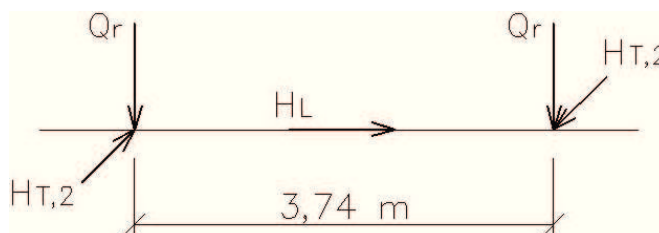
$$Q_{r,k} = 131,28 \text{ kN}$$

$$Q_{r,d} = 177,23 \text{ kN}$$

Vodorovné příčné zatížení:

$$H_{T,2,k} = 15,62 \text{ kN}$$

$$H_{T,2,d} = 21,09 \text{ kN}$$



Obr. 29: Působení sil na nosník.



Vodorovné podélné zatížení:

$$H_{L,k} = 10,7 \text{ kN}$$

$$H_{L,d} = 14,45 \text{ kN}$$

#### 6.8.1.2 Extrémní ohybový moment od svislých sil:

Velikost výslednice soustavy svislých břemen:

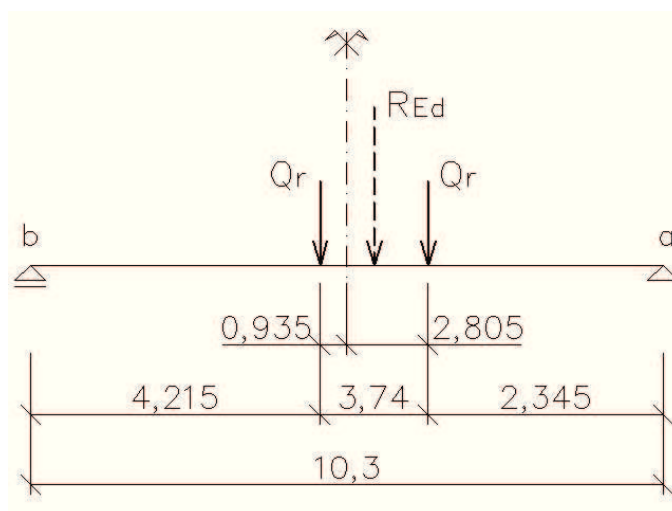
$$R_{Ed} = 2 * Q_{r,d} = 2 * 177,23 = 354,46 \text{ kN}$$

Působíště výslednice soustavy vzhledem k levému břemenu:

$$a = \frac{177,23 * 3,74}{354,46} = 1,87 \text{ m}$$

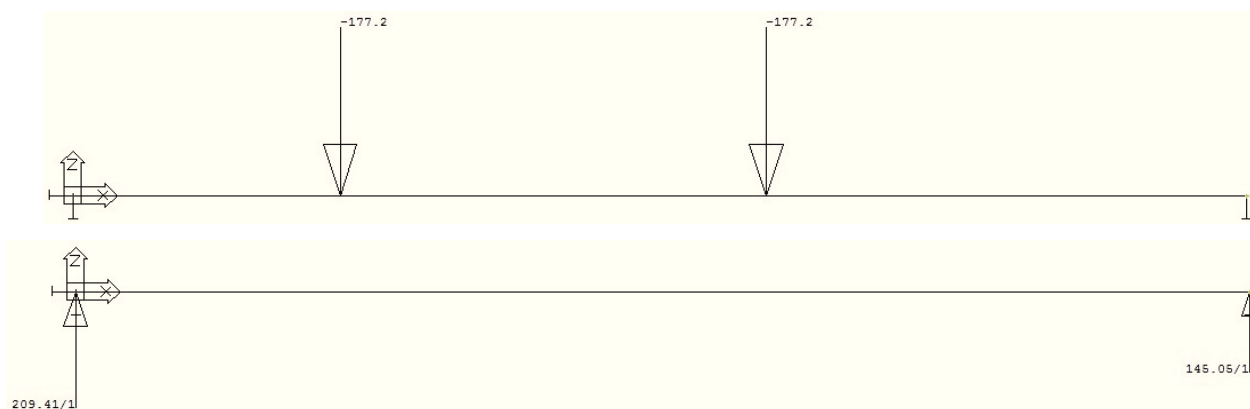
Aritmeticky střední břemeno:

Aritmeticky středním břemenem je levé břemeno, protože břemena jsou dvě a jsou stejně veliká. Postavení sil na nosníku je pak podle obr. 30.



Obr. 30: Postavení svislých sil na nosníku podle břemenového kritéria.

Reakce:

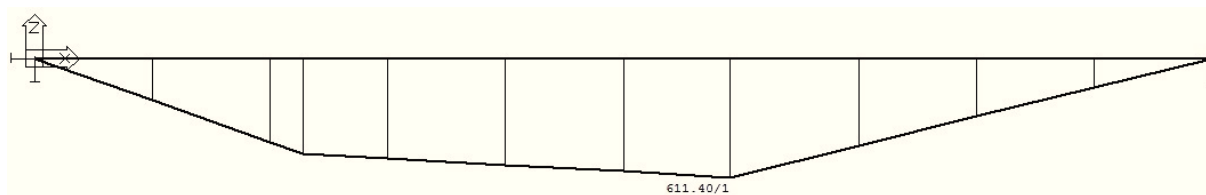


Obr. 31: Zadání sil a průběh reakcí (program Nexis).

$$R_{a,Ed} = 209,41 \text{ kN}$$

$$R_{b,Ed} = 145,05 \text{ kN}$$

Ohybový moment:

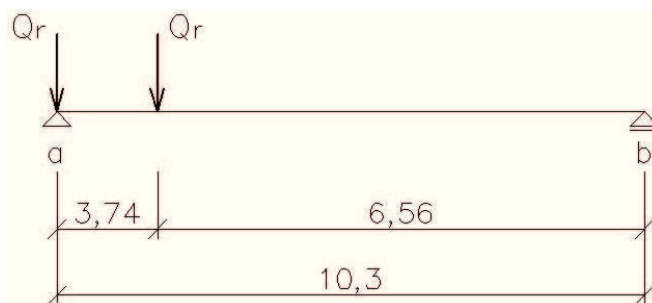


Obr. 32: Průběh ohybových momentů (program Nexis).

$$M_{max,Ed} = 611,4 \text{ kNm}$$

#### 6.8.1.3 Extrémní posouvající síla od svislých sil:

Největší posouvající síla vznikne při postavení nad podporou.



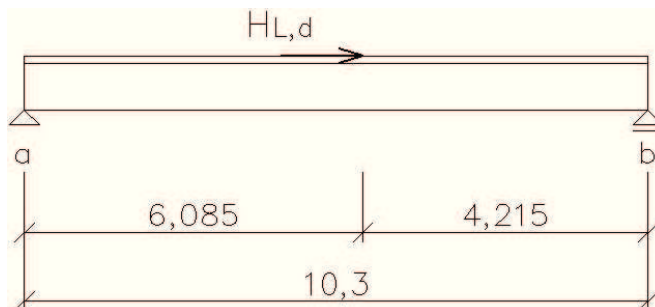
Obr. 33: Rozhodující postavení břemen pro maximální posouvající sílu.

$$V_{max,Ed} = R_{max,a,Ed} = \frac{177,23 \cdot (6,57 + 10,3)}{10,3} = 290,28 \text{ kN}$$

#### 6.8.1.4 Vnitřní síly od vodorovných podélných sil:

Zde je nutno uvážit výšku nosníku, která byla zvolena 600 mm. Vlivem výšky nosníku a výšky kolejnice vzniká excentricita působíště podélné síly, která vyvolává svislé reakce a ohybový moment. Výška kolejnice JKL 55 je 85 mm.

Síla je umístěna do působíště aritmeticky středního břemena svislých sil.



Obr. 34: Vyznačení působíště vodorovné podélné síly.

Excentricita:

$$e = h_{kolejnice} + h_{nosniku} = 85 + 600 = 685 \text{ mm}$$

Reakce:

$$R_{HL,Ed} = \frac{14,45 \cdot 0,685}{10,3} = \pm 0,961 \text{ kN}$$



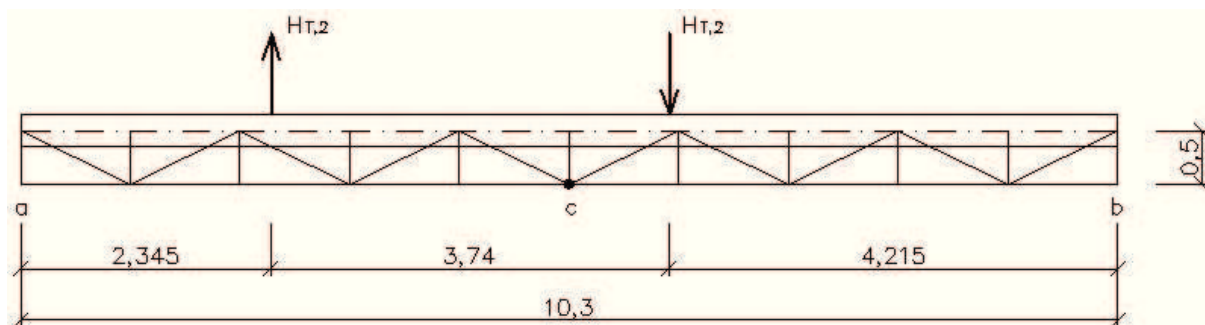
Ohybový moment:

$$M_{H_{L,Ed}} = R_{H_{L,Ed}} * 6,085 = 0,961 * 6,085 = 5,85 \text{ kNm}$$

#### 6.8.1.5 Vnitřní síly od vodorovných příčných sil:

Vodorovné příčné zatížení se přenáší prostřednictvím vodorovného výztužného nosníku. Jeho teoretická výška je 500 mm.

Postavení kol se uvažuje ve stejné poloze, jako pro výpočet extrémního ohybového momentu ve svislé rovině  $M_{\max,Ed}$ .



Obr. 35: Působení sil na vodorovný nosník.

Reakce:

$$R_{H_{T,2,Ed}} = \frac{-21,09 * 7,955 + 21,09 * 4,215}{10,3} = -7,66 \text{ kN}$$

Moment k momentovému středu c:

$$M_{H_{T,2,Ed}} = -7,66 * \frac{10,3}{2} + 21,09 * 2,805 = 19,7 \text{ kNm}$$

Osová síla v pásu:

$$N_{H_{T,2,Ed}} = \frac{M_{H_{T,2,Ed}}}{0,5} = \frac{19,7}{0,5} = 39,4 \text{ kN}$$

Ohybový moment ve vodorovné rovině:

$$a = \frac{10,3}{10} = 1,03 \text{ m} \quad (\text{vzdálenost mezi svislicemi vodorovného nosníku})$$

$$M_{z,H_{T,2,Ed}} \approx 0,8 \frac{H_{T,2,d} * a}{4} = 0,8 \frac{21,09 * 1,03}{4} = 4,34 \text{ kNm}$$

#### 6.8.1.6 Vnitřní síly od stálého zatížení jeřábové dráhy:

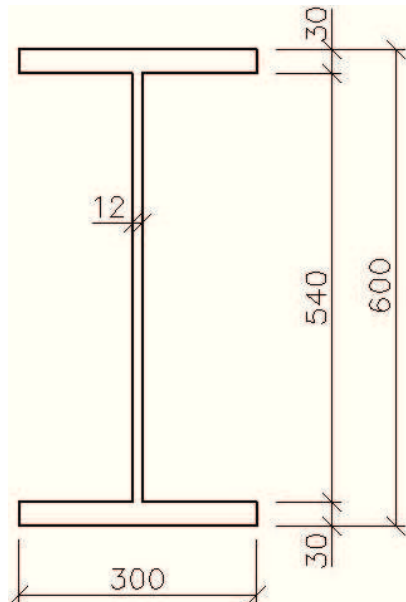
- Kolejnice JKL 55:  $g_{1,k} = 0,3 \text{ kN/m}$  ( $m = 29,6 \text{ kg/m}$ )
- Hlavní nosník jeřábové dráhy:  $A = 24\,480 \text{ mm}^2$   
 $g_{2,k} = 1,9 \text{ kN/m}$  ( $m = 7850 \text{ kg/m}^3$ )
- Vodorovný nosník + lávka:  $g_{3,k} = 1,2 \text{ kN/m}$
- **Celkové stálé zatížení:**  $g_k = g_{1,k} + g_{2,k} + g_{3,k} = 3,4 \text{ kN/m}$   
 $g_d = \gamma_G * g_k = 1,35 * 3,4 = 4,59 \text{ kN/m}$

Reakce:

$$R_{a,g,Ed} = R_{b,g,Ed} = \frac{g_d \cdot l}{2} = \frac{4,59 \cdot 10,3}{2} = 23,64 \text{ kN}$$

Ohybový moment pod aritmeticky středním břemenem svislých sil podle 1.8.1.2:

$$M_{g,Ed} = R_{a,g,Ed} \cdot 6,085 - \frac{g_d \cdot 6,085^2}{2} = 23,64 \cdot 6,085 - \frac{4,59 \cdot 6,085^2}{2} = 58,87 \text{ kNm}$$



Obr. 36: Předpokládaný průřez hlavního nosníku.

## 6.8.2 Rekapitulace vnitřních sil

Tab. 7: Rekapitulace vnitřních sil

Druh zatížení		$M_{y,Ed}$ [kNm]	$M_{z,Ed}$ [kNm]	$N_{Ed}$ [kN]	$V_{z,Ed}$ [kN]
Stálé		58,87	0	0	23,64
Svislé od kol jeřábu	Postavení $M_{max}$	611,4	0	0	209,41
	Postavení $V_{max}$	0	0	0	290,28
Vodorovná podélná síla		5,85	0	14,45	0,825
Vodorovné příčné síly		0	4,34	39,4	0

## 6.9 NÁVRH PRŮŘEZU HLAVNÍHO NOSNÍKU

### 6.9.1 Průřezové charakteristiky

$$A = 24\,480 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 1,62 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,135 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$W_{y,h} = 5,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{y,d} = 5,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

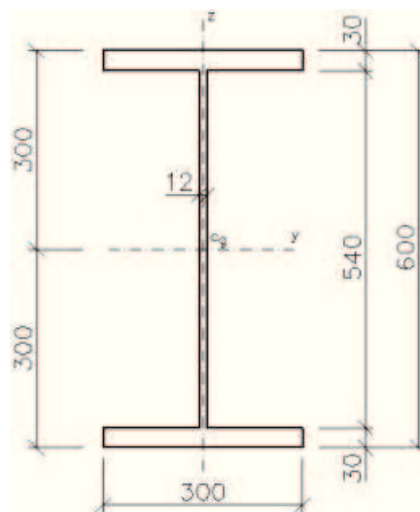
$$W_{y,h,stožina} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{y,d,stožina} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_z = W_{z,h} = W_{z,d} = 9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$I_T = 5,52 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_w = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^6$$



Obr. 37: Poloha těžiště průřezu nosníku.

Materiál: Ocel S235

### 6.9.2 Zatřídění průřezu

Horní pás:

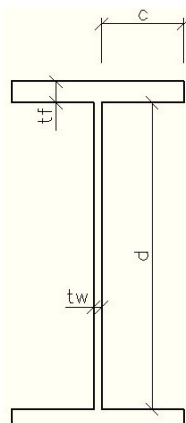
$$\frac{c}{t_f} = \frac{144}{30} = 4,8 \leq 9\varepsilon = 9\sqrt{\frac{235}{f_y}} = 9\sqrt{\frac{235}{235}} = 9 \dots \text{Třída průřezu 1}$$

Stojina:

$$\frac{d}{t_w} = \frac{540}{12} = 45 \leq 72\varepsilon = 72\sqrt{\frac{235}{f_y}} = 72\sqrt{\frac{235}{235}} = 72 \dots \text{Třída průřezu 1}$$

Stojina je zatříděná pro ohyb, protože výrazně převládá.

I přes zatřídění průřezu do třídy 1 se výpočet jeřábové dráhy řeší pružnostně.



Obr. 38: Rozměry pro zatřídění průřezu.

## 6.10 POSOUZENÍ HLAVNÍHO NOSNÍKU

### 6.10.1 Posouzení nosníku na boulení od ohybu pásnic

- Průřezová plocha stojiny:  $A_w = 0,54 \cdot 0,012 = 6,48 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
- Účinná průřezová plocha tlačené pásnice:  $A_{fc} = 0,3 \cdot 0,03 = 9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
- Výška stojiny:  $h_w = 0,54 \text{ m}$
- Tloušťka stojiny:  $t_w = 0,012 \text{ m}$
- Modul pružnosti v tahu a tlaku:  $E = 210 \text{ GPa}$
- Pevnost na mezi kluzu:  $f_y = 235 \text{ MPa}$
- $k = 0,3$  (pro pásnice třídy 1)

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \cdot \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

$$\frac{0,54}{0,012} = 45 \leq 0,3 \cdot \frac{210 \cdot 10^9}{235 \cdot 10^6} \sqrt{\frac{6,48 \cdot 10^{-3}}{9 \cdot 10^{-3}}} = 227,4 \dots \text{VYHOVUJE}$$

### 6.10.2 Posouzení na smyk

#### 6.10.2.1 Postavení břemen v pozici $V_{\max}$ :

Návrhová smyková síla podle tab. 7:

$$V_{z,Ed} = 23,64 + 290,28 + 0,825 = 314,75 \text{ kN}$$

Smyková únosnost nosníku:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_w * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{6,48 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1 * \sqrt{3}} = 879,1 \text{ kN}$$

Ověření vlivu smykového boulení:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{0,54}{0,012} = 45 \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 * \frac{1}{1} = 72 \quad \dots \text{Kompaktní stojina.}$$

$$V_{z,Ed} = 314,75 \text{ kN} \leq \frac{1}{2} * V_{pl,Rd} = \frac{1}{2} * 879,1 = 439,55 \text{ kN}$$

Vliv smykového boulení lze zanedbat.

Posouzení:

$$V_{pl,Rd} = 879,1 \text{ kN} \geq V_{z,Ed} = 314,75 \text{ kN} \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$

#### 6.10.2.2 Postavení břemen v pozici $M_{\max}$ :

Návrhová smyková síla podle tab. 7:

$$V_{z,Ed} = 23,64 + 145,05 + 0,825 = 169,52 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$V_{pl,Rd} = 879,1 \text{ kN} \geq V_{z,Ed} = 169,52 \text{ kN} \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$

#### 6.10.2.3 Posouzení vlivu smyku při působení ohybu a osově síly:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{169,52}{879,1} = 0,2 \leq 0,5 \quad \dots \text{Vliv smyku lze zanedbat}$$

### 6.10.3 Posouzení na ohyb o osovou sílu

#### 6.10.3.1 Ztráta stability klopením:

Při výpočtu je použita zjednodušená metoda pro příčně podepřené nosníky. Posuzuje se ekvivalentní tlačенá pásnice na vzpěr.

Průřezový modul vztažený k tlačенé pásnici:

$$W_y = W_{y,h} = 5,4 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

Opravný součinitel štíhlosti:

$$k_c = 1$$

Vzdálenost styčníků vodorovného výztužného nosníku:

$$L_c = 1\,030\text{ mm}$$

Největší štíhlost ekvivalentní tlačené pásnice:

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1 = 0,4 + 0,1 = 0,5$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} * \varepsilon = \pi \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9}{235 \cdot 10^6}} * \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

Návrhový ohybový moment podle tab. 7:

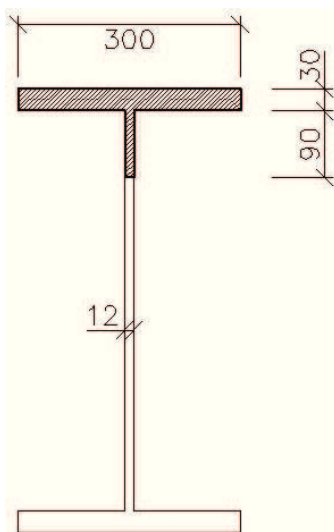
$$M_{y,Ed} = 58,87 + 611,4 + 5,85 = 676,12\text{ kNm}$$

Průřezové charakteristiky ekvivalentní tlačené pásnice:

$$A_{f,z} = 300 * 30 + 90 * 12 = 10,08 * 10^{-3}\text{ m}^2$$

$$I_{f,z} = \frac{1}{12} (30 * 300^3 + 90 * 12^3) = 6,75 * 10^{-5}\text{ m}^4$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{f,z}}{A_{f,z}}} = \sqrt{\frac{6,75 \cdot 10^{-5}}{10,08 \cdot 10^{-3}}} = 0,082\text{ m}$$



Obr. 39: Rozměry ekvivalentní tlačené pásnice.

Posudek:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_y * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{5,4 \cdot 10^{-3} * 235 \cdot 10^6}{1} = 1269\text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_f = \frac{k_c * L_c}{i_{f,z} * \lambda_1} = \frac{1 * 1,03}{0,082 * 93,9} = 0,134$$

$$\bar{\lambda}_f = 0,134 \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} = 0,5 \frac{1269}{676,12} = 0,938 \dots \text{ VYHOVUJE}$$

(není potřeba nosník posuzovat na klopení)

## 6.10.3.2 Ztrát stability celého průřezu vzpěrným vybočením:

Použití pro účinky od vodorovné podélné síly.

Vzdálenost styčnicku vodorovného výztužného nosníku:

$$L_{cr,z} = 1\,030\text{ mm}$$

Vzdálenost podpor nosníku:

$$L_{cr,y} = 10\,300\text{ mm}$$

Poloměry setrvačnosti průřezu v hlavních rovinách:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,62 \cdot 10^{-3}}{2,448 \cdot 10^{-2}}} = 0,257\text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{1,35 \cdot 10^{-4}}{2,448 \cdot 10^{-2}}} = 0,074\text{ m}$$

Štíhlosti při vybočení v hlavních rovinách:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{10,3}{0,257} = 40,07$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{1,03}{0,074} = 13,92$$

Poměrná štíhlost a součinitelé vzpěrnosti:

$$\lambda_1 = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 * 1 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{40,07}{93,9} = 0,43 \quad \text{křivka } \mathbf{b} \quad \chi_y = 0,914 \quad \dots \text{ Rozhoduje}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{13,92}{93,9} = 0,15 < 0,2 \quad \dots \text{ účinky vzpěru lze zanedbat}$$

## 6.10.3.3 Ztráta stability horní části hlavního nosníku vlivem vodorovné příčné síly:

Použití pro účinky od vodorovných příčných sil.

Vzdálenost styčnicku vodorovného výztužného nosníku:

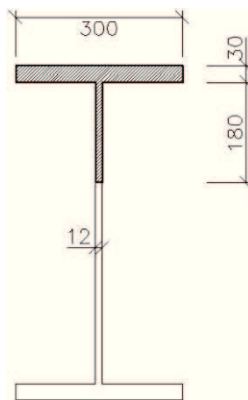
$$L_{cr,z} = 1\,030\text{ mm}$$

Průřezové charakteristiky:

$$A_p = 300 * 30 + 180 * 12 = 11,16 * 10^{-3}\text{ m}^2$$

$$I_{z,p} = \frac{1}{12} (30 * 300^3 + 180 * 12^3) = 6,75 * 10^{-5}\text{ m}^4$$

$$i_{z,p} = \sqrt{\frac{I_{z,p}}{A_p}} = \sqrt{\frac{6,75 \cdot 10^{-5}}{11,16 \cdot 10^{-3}}} = 0,078\text{ m}$$



Obr. 40: Vzdušující část průřezu.

Štíhlosti při vybočení:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_{z,p}} = \frac{1,03}{0,078} = 13,21$$

Poměrná štíhlost a součinitelé vzpěrnosti:

$$\lambda_1 = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 * 1 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{13,21}{93,9} = 0,14 < 0,2 \dots \text{účinky vzpěru lze zanedbat}$$

#### 6.10.3.4 Podélné normálové napětí na horní pásnici:

Kombinace zatížení: Stálé + zatížení od jeřábu.

Napětí od stálého zatížení:

$$M_{g,y,Ed} = 58,87 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{x,g,Ed} = \frac{M_{g,y,Ed}}{W_{y,h}} = \frac{58,87 * 10^3}{5,4 * 10^{-3}} = 10,9 \text{ Mpa}$$

Napětí od zatížení koly jeřábu  $Q_r$ :

$$M_{Q_r,y,Ed} = 611,4 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{x,Q_r,Ed} = \frac{M_{Q_r,y,Ed}}{W_{y,h}} = \frac{611,4 * 10^3}{5,4 * 10^{-3}} = 113,22 \text{ Mpa}$$

Napětí od vodorovné podélné síly  $H_{L,d}$ :

$$N_{H_L,Ed} = 14,45 \text{ kN}$$

$$M_{H_L,Ed} = 5,85 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{x,H_L,Ed} = \frac{N_{H_L,Ed}}{\chi_{min} * A} + \frac{M_{H_L,Ed}}{W_{y,h}} = \frac{14,45 * 10^3}{0,914 * 2,44 * 10^{-2}} + \frac{5,85 * 10^3}{5,4 * 10^{-3}} = 1,73 \text{ Mpa}$$

Napětí od vodorovných příčných sil  $H_{T,2}$ :

$$N_{H_T,Ed} = 39,4 \text{ kN}$$

$$M_{H_T,Ed} = 7,25 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{x,H_T,Ed} = \frac{N_{H_T,Ed}}{\chi_z * A_p} + \frac{M_{H_T,Ed}}{W_{z,p}} = \frac{39,4 * 10^3}{1 * 11,16 * 10^{-3}} + \frac{4,34 * 10^3}{4,5 * 10^{-4}} = 13,17 \text{ Mpa}$$



Posudek:

$$\sigma_{x,H_T,Ed} = \sigma_{x,g,Ed} + \sigma_{x,Q_r,Ed} + \sigma_{x,H_L,Ed} + \sigma_{x,H_T,Ed}$$

$$\sigma_{x,H_T,Ed} = 10,9 + 113,22 + 1,73 + 13,17 = 139,02 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,H_T,Ed} = 139,02 \text{ MPa} \leq \frac{F_y}{\gamma_{M1}} = \frac{235}{1} = 235 \text{ MPa} \quad \dots \text{ VYHOVUJE}$$

#### 6.10.3.5 Podélné normálové napětí na dolní pásnici:

Kombinace zatížení: Stálé + zatížení od jeřábu.

Napětí od stálého zatížení:

$$M_{g,y,Ed} = 58,87 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{x,g,Ed} = \frac{M_{g,y,Ed}}{W_{y,d}} = \frac{58,87 \cdot 10^3}{5,4 \cdot 10^{-3}} = 10,9 \text{ Mpa}$$

Napětí od zatížení koly jeřábu  $Q_r$ :

$$M_{Q_r,y,Ed} = 611,4 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{x,Q_r,Ed} = \frac{M_{Q_r,y,Ed}}{W_{y,h}} = \frac{611,4 \cdot 10^3}{5,4 \cdot 10^{-3}} = 113,22 \text{ Mpa}$$

Napětí od vodorovné podélné síly  $H_{L,d}$ :

$$N_{H_L,Ed} = 14,45 \text{ kN}$$

$$M_{H_L,Ed} = 5,82 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{x,H_L,Ed} = \frac{N_{H_L,Ed}}{\chi_{min} \cdot A} + \frac{M_{H_L,Ed}}{W_{y,d}} = \frac{14,45 \cdot 10^3}{0,914 \cdot 2,44 \cdot 10^{-2}} + \frac{5,82 \cdot 10^3}{5,4 \cdot 10^{-3}} = 1,73 \text{ MPa}$$

Napětí od vodorovných příčných sil  $H_{T,2}$ :

Zatížení od vodorovných příčných sil se neuplatní, neboť je přenášeno jen horní částí hlavního nosníku.

Posudek:

$$\sigma_{x,H_T,Ed} = \sigma_{x,g,Ed} + \sigma_{x,Q_r,Ed} + \sigma_{x,H_L,Ed}$$

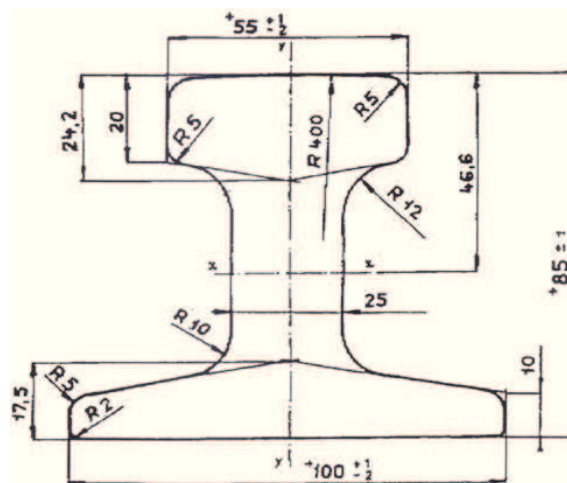
$$\sigma_{x,H_T,Ed} = 10,9 + 113,22 + 1,73 = 125,85 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,H_T,Ed} = 125,85 \text{ MPa} \leq \frac{F_y}{\gamma_{M1}} = \frac{235}{1} = 235 \text{ MPa} \quad \dots \text{ VYHOVUJE}$$

#### 6.10.4 Posouzení na účinek příčných sil

##### 6.10.4.1 Účinná roznášecí délka ( $l_{eff}$ ):

Při výpočtu průřezových veličin se snižuje jmenovitá výška kolejnice o 25% nejmenší jmenovité tloušťky  $t_r$  pod pojižděným povrchem.



Obr. 41: Průřez kolejnicí JKL 55 bez opotřebení.

Nejmenší jmenovitá tloušťka pod pojížděným povrchem a tloušťka po opotřebení:

$$t_r = 20 \text{ mm}$$

$$0,25 * t_r = 0,25 * 20 = 5 \text{ mm}$$

Charakteristiky kolejnice:

- Moment setrvačnosti opotřebované kolejnice:  $I_r = 3,87 * 10^{-6} \text{ m}^4$
- Šířka spodní pásnice:  $b_{fr} = 100 \text{ mm}$
- Výška kolejnice:  $h_r = 85 \text{ mm}$
- Pevnost oceli na mezi kluzu:  $f_y = 235 \text{ MPa}$
- Modul pružnosti v tahu a tlaku:  $E = 210 \text{ GPa}$

Charakteristika hlavního nosníku:

- Šířka horní pásnice:  $b_f = 300 \text{ mm}$
- Tloušťka horní pásnice:  $t_f = 30 \text{ mm}$
- Tloušťka stojiny:  $t_w = 12 \text{ mm}$
- Výška stojiny:  $h_w = 540 \text{ mm}$

$$b_{eff} = b_{fr} + h_r + t_f = 100 + 85 + 30 = 215 \text{ mm} \leq b_1 = 300 \text{ mm}$$

$$I_{f,eff} = \frac{1}{12} * b_{eff} * t_f^3 = \frac{1}{12} * 0,215 * 0,03^3 = 4,84 * 10^{-7} \text{ m}^4$$

Efektivní délka:

$$l_{eff} = 3,25 * \left( \frac{I_r + I_{f,eff}}{t_w} \right)^{\frac{1}{3}} = 3,25 * \left( \frac{3,87 * 10^{-6} + 4,84 * 10^{-7}}{0,012} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,232 \text{ m}$$

Roznášecí délka:

$$s_s = l_{eff} - 2 * t_f = 232 - 2 * 30 = 172 \text{ mm}$$

6.10.4.2 Účinná zatížená délka ( $l_y$ ):

$$m_1 = \frac{f_{yf} * b_f}{f_{yw} * t_w} = \frac{235 * 300}{235 * 12} = 25$$

$$m_2 = 0$$

$$l_y = s_s + 2t_f(1 + \sqrt{m_1 + m_2}) = 0,172 + 2 * 0,03 * (1 + \sqrt{25 + 0}) = 0,532 \text{ m}$$

$$a = \frac{l}{3} = \frac{10,3}{3} = 3,43 \text{ m} \quad (\text{vzdálenost příčných výztuh, které jsou ve třetinách nosníku})$$

$$k_F = 6 + 2 * \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 = 6 + 2 * \left(\frac{0,540}{3,43}\right)^2 = 6,04 \quad (\text{pro typ zavedení zatížení A})$$

$$F_{cr} = 0,9 * k_F * E * \frac{t_w^3}{h_w} = 0,9 * 6,04 * 210 * 10^9 * \frac{0,012^3}{0,540} = 3\,653 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{0,532 * 0,012 * 235 * 10^6}{3\,653 * 10^3}} = 0,64 > 0,5 \quad \dots \quad \text{Nové určení } m_2$$

$$m_2 = 0,02 \left(\frac{h_w}{t_f}\right)^2 = 0,02 \left(\frac{0,540}{0,03}\right)^2 = 6,48$$

$$l_y = s_s + 2t_f(1 + \sqrt{m_1 + m_2}) = 0,172 + 2 * 0,03 * (1 + \sqrt{25 + 6,48}) = 0,57 \text{ m}$$

6.10.4.3 Součinitel lokálního boulení ( $\chi_f$ ):

$$a = \frac{l}{3} = \frac{10,3}{3} = 3,43 \quad (\text{vzdálenost příčných výztuh, které jsou ve třetinách nosníku})$$

$$k_F = 6 + 2 * \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 = 6 + 2 * \left(\frac{0,54}{3,43}\right)^2 = 6,05 \quad (\text{pro typ zavedení zatížení A})$$

$$F_{cr} = 0,9 * k_F * E * \frac{t_w^3}{h_w} = 0,9 * 6,05 * 210 * 10^9 * \frac{0,012^3}{0,54} = 3\,659 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{0,57 * 0,012 * 235 * 10^6}{3\,659 * 10^3}} = 0,66$$

$$\chi_f = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,66} = 0,76 \leq 1$$

6.10.4.4 Návrhová únosnost v lokálním boulení ( $F_{Rd}$ ):

Účinná délka pro únosnost na příčné síly:

$$l_{eff} = \chi_f * l_y = 0,76 * 0,57 = 0,43 \text{ m}$$

Posouzení:

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} * l_{eff} * t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{235 * 10^6 * 0,43 * 0,012}{1} = 1\,212 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = 1\,212 \text{ kN} \geq F_{Ed} = Q_{r,d} = 177,23 \text{ kN} \quad \dots \quad \textbf{VYHOVUJE}$$

### 6.10.5 Posouzení rovinného namáhání ve stěně nosníku

#### 6.10.5.1 Postavení břemen v pozici $M_{\max}$ :

Lokální napětí od kolových zatížení na horní pásnici:

$$\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{z,Ed}}{L_{eff}t_w} = \frac{177,23 * 10^3}{0,232 * 0,012} = 63,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{oxz,Ed} \cong 0,2 * \sigma_{oz,Ed} = 0,2 * 63,7 = 12,74 \text{ MPa}$$

Návrhové podélné normálové napětí:

$$\sigma_{x,g,Ed} = \frac{M_{g,y,Ed}}{W_{y,h, stojina}} = \frac{58,87 * 10^3}{6 * 10^{-3}} = 9,81 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,H_{Qr},Ed} = \frac{M_{Qr,y,Ed}}{W_{y,h, stojina}} = \frac{611,4 * 10^3}{6 * 10^{-3}} = 101,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,H_L,Ed} = \frac{N_{H_L,Ed}}{\chi_{min}A} + \frac{M_{H_L,y,Ed}}{W_{y,h, stojina}} = \frac{14,45 * 10^3}{0,914 * 24480 * 10^{-6}} + \frac{5,85 * 10^3}{6 * 10^{-3}} = 1,62 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,H_{T,2},Ed} = \frac{N_{H_{T,2},Ed}}{\chi_z A_p} + 0 = \frac{39,4 * 10^3}{1 * 11,16 * 10^{-3}} = 3,53 \text{ MPa}$$

Návrhové smykové napětí od posouvající síly:

$$V_{z,Ed} = 144,7 \text{ (tíha kočky + břemene na více zatíženou větev)}$$

$$I_y = 1,62 * 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$S_y = 300 * 30 * 285 = 2,565 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\tau_{Ed,1} = \frac{V_{z,Ed}S_y}{I_y t_w} = \frac{144,7 * 10^3 * 2,565 * 10^{-3}}{1,62 * 10^{-3} * 0,012} = 19,09 \text{ MPa}$$

Posudek:

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{x,g,Ed} + \sigma_{x,H_{Qr},Ed} + \sigma_{x,H_L,Ed} + \sigma_{x,H_{T,2},Ed} = 9,81 + 101,9 + 1,62 + 3,53 = 116,86 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,Ed} = 63,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \tau_{oxz,Ed} + \tau_{Ed,1} = 12,74 + 19,09 = 31,83 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}\gamma_{M0}}{f_y}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}\gamma_{M0}}{f_y}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}\gamma_{M0}}{f_y}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}\gamma_{M0}}{f_y}\right) + 3\left(\frac{\tau_{Ed}\gamma_{M0}}{f_y}\right)^2 \leq 1$$
$$\left(\frac{116,86 * 1}{235}\right)^2 + \left(\frac{63,7 * 1}{235}\right)^2 - \left(\frac{116,86 * 1}{235}\right)\left(\frac{63,7 * 1}{235}\right) + 3\left(\frac{31,83 * 1}{235}\right)^2 \leq 1$$
$$0,24 \leq 1 \quad \dots \text{ VYHOVUJE}$$

#### 6.10.5.2 Postavení břemen v pozici $A_{\max}$ :

Lokální napětí od kolových zatížení na horní pásnici:

$$\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{z,Ed}}{L_{eff}t_w} = \frac{177,23 * 10^3}{0,232 * 0,012} = 63,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{oxz,Ed} \cong 0,2 * \sigma_{oz,Ed} = 0,2 * 63,7 = 12,74 \text{ MPa}$$

Návrhové podélné normálové napětí:

$$\sigma_{x,Ed} \approx 0 \text{ MPa}$$

Návrhové smykové napětí od posouvající síly:

$$V_{z,Ed} = 23,64 + 290,28 + 0,825 = 314,7 \text{ kN}$$

$$I_y = 1,62 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$S_y = 300 \cdot 30 \cdot 285 = 2,565 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\tau_{Ed,1} = \frac{V_{z,Ed} S_y}{I_y t_w} = \frac{314,7 \cdot 10^3 \cdot 2,565 \cdot 10^{-3}}{1,62 \cdot 10^{-3} \cdot 0,012} = 41,5 \text{ MPa}$$

Posudek:

$$\sigma_{x,Ed} = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,Ed} = 63,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \tau_{oxz,Ed} + \tau_{Ed,1} = 12,74 + 41,5 = 54,24 \text{ MPa}$$

$$\left( \frac{\sigma_{x,Ed} \gamma_{M0}}{f_y} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{z,Ed} \gamma_{M0}}{f_y} \right)^2 - \left( \frac{\sigma_{x,Ed} \gamma_{M0}}{f_y} \right) \left( \frac{\sigma_{z,Ed} \gamma_{M0}}{f_y} \right) + 3 \left( \frac{\tau_{Ed} \gamma_{M0}}{f_y} \right)^2 \leq 1$$

$$\left( \frac{0 \cdot 1}{235} \right)^2 + \left( \frac{63,7 \cdot 1}{235} \right)^2 - \left( \frac{0 \cdot 1}{235} \right) \left( \frac{63,7 \cdot 1}{235} \right) + 3 \left( \frac{54,24 \cdot 1}{235} \right)^2 \leq 1$$

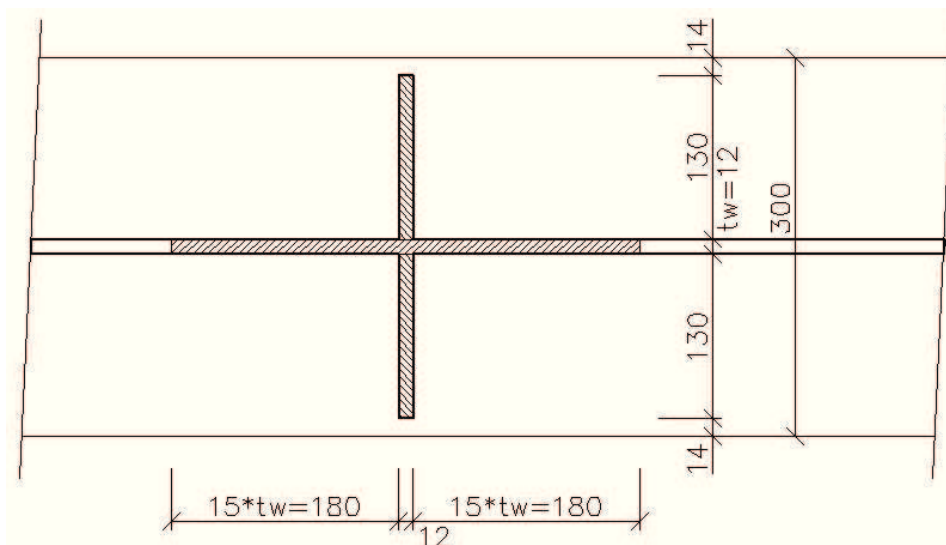
$$0,23 \leq 1 \quad \dots \text{ VYHOVUJE}$$

## 6.10.6 Posouzení příčných výztuh

### 6.10.6.1 Vnitřní příčné výztuhy:

Smyková únosnost hlavního nosníku není ovlivněna smykovým boulením a únosnost je dostatečná i bez příčných výztuh. Výztuhy jsou navrženy z konstrukčních důvodů, neboť jsou využity pro přichycení šikmých vzpěr vodorovného nosníku.

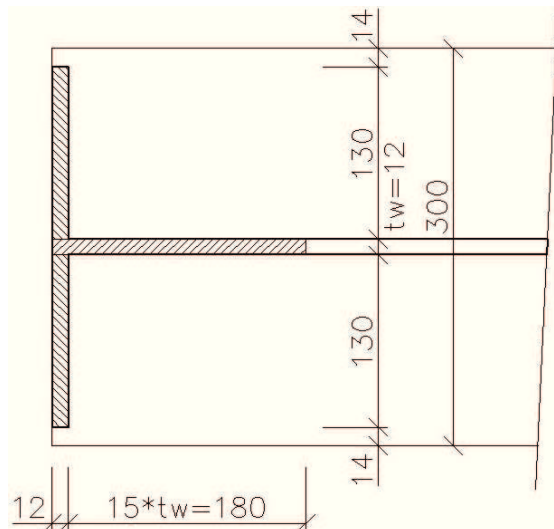
Rozměry výztuhy a účinný průřez jsou patrný z obrázku 42.



Obr. 42: Rozměry příčné výztuhy a účinná část stojiny nosníku.

### 6.10.6.2 Koncová příčná výztuha:

Koncová příčná výztuha je navržena jako netuhá.



Obr. 43: Rozměry koncové výztuhy a účinná část stojiny.

Průřezové charakteristiky:

$$A_{st} = 5,424 * 10^{-3} m^2$$

$$I_{st} = \frac{1}{12} * 12 * 272^3 + \frac{1}{12} * 180 * 12^3 = 20,14 * 10^{-6} m^4$$

$$i_{st} = \sqrt{\frac{I_{st}}{A}} = \sqrt{\frac{20,14 * 10^{-6}}{5,424 * 10^{-3}}} = 0,061 m$$

Posouzení tuhosti výztuhy:

$$a = \frac{10,3}{3} = 3,43 m \text{ (vzdálenost příčných výztuh)}$$

$$h_w = 0,54 m \text{ (výška stojiny)}$$

$$\frac{a}{h_w} = \frac{3,43}{0,54} = 6,35 \geq \sqrt{2} \Rightarrow I_{st} \geq 0,75 * h_w * t_w^3$$

$$I_{st} = 20,14 * 10^{-6} m^4 \geq 0,75 * 0,54 * 0,012^3 = 6,998 * 10^{-7} m^4 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení únosnosti výztuhy:

$$L_{cr} = 0,75 h_w = 0,75 * 0,54 = 0,405 m$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_{st}} = \frac{0,405}{0,061} = 6,64 \Rightarrow \chi = 1$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A_{st} * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1 * 5,424 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1} = 1 274 kN$$

$$N_{b,Rd} = 1 274 kN \geq V_{z,Ed} = 311,96 kN \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

### 6.10.7 Posouzení krčních svarů

Hlavní nosník je navržen s oboustrannými průběžnými koutovými svary. Svary jsou navrženy s účinnou výškou 4 mm a jsou provedeny svařovacím automatem.

Namáhání působící v posuzovaném průřezu:

- Maximální posouvající síla:  $V_{z,Ed} = 314,75 \text{ kN}$
- Normálová síla (brzdná síla):  $N_{Ed} = H_{L,d} = 39,4 \text{ kN}$
- Lokální zatížení:  $F_{z,Ed} = Q_{r,d} = 177,23 \text{ kN}$

Podélné smykové napětí od  $V_{z,Ed}$ :

$$\begin{aligned} I_y &= 1,62 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4 \\ S_y &= 300 \cdot 30 \cdot 285 = 2,56 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\ a &= 4 \text{ mm} \\ \tau_{II}^1 &= \frac{V_{z,Ed} \cdot S_y}{2 \cdot a \cdot I_y} = \frac{314,75 \cdot 10^3 \cdot 2,56 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,004 \cdot 1,62 \cdot 10^{-3}} = 62,17 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Podélné smykové napětí od normálové síly  $N_{Ed}$ :

Předpokládá se, že podélná síla bude přenášena svarem o délce, která je rovna účinné roznášecí délce  $l_{eff}$ .

$$\begin{aligned} l_{eff} &= 232 \text{ mm} \\ \tau_{II}^2 &= \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a \cdot l_{eff}} = \frac{39,4 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,232} = 21,23 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Příčné a smykové lokální napětí od  $F_{z,Ed}$ :

$$\begin{aligned} \sigma_{w,Ed} &= \frac{F_{z,Ed}}{2 \cdot a \cdot l_{eff}} = \frac{177,23 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,232} = 95,5 \text{ MPa} \\ \tau_{loc,Ed} &\cong 0,2 \cdot \sigma_{w,Ed} = 0,2 \cdot 95,5 = 19,1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Posouzení:

$$\begin{aligned} \beta_w &= 0,8 \\ f_u &= 360 \text{ MPa} \\ \gamma_{M2} &= 1,25 \end{aligned}$$

$$\tau_{II} = \tau_{II}^1 + \tau_{II}^2 + \tau_{loc,Ed} = 62,17 + 21,23 + 19,1 = 102,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_{w,Ed}}{\sqrt{2}} = \frac{95,5}{\sqrt{2}} = 67,5 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = \sqrt{67,5^2 + 3 \cdot (67,5^2 + 102,5^2)} = 223,03 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = 223,03 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = 360 \text{ MPa} \quad \dots \text{ VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} = 67,5 \text{ MPa} \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \frac{360}{1,25} = 259 \text{ MPa} \quad \dots \text{ VYHOVUJE}$$



### 6.10.8 Mezní stav použitelnosti

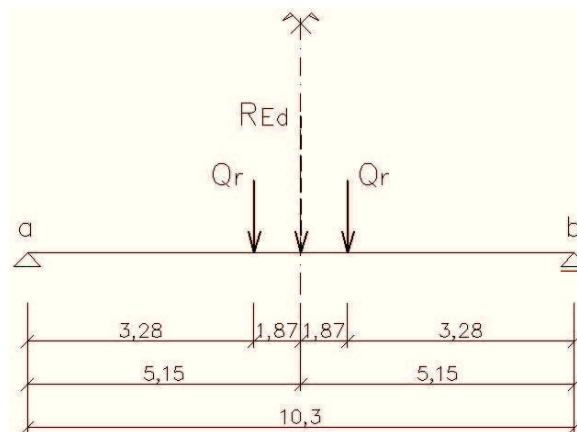
Pro výpočet jsou uvažovány charakteristické hodnoty zatížení. Celkový průhyb je získán superpozicí průhybu od stálého zatížení a průhybu od svislých tlaků kol jeřábu. Pohyblivá soustava sil je umístěna tak, že výslednice soustavy sil leží uprostřed rozpětí.

Průhyb od stálého zatížení:

$$g_k = 3,4 \text{ kN/m}$$

$$w_g = \frac{5}{384} \frac{g_k L^4}{EI_y} = \frac{5}{384} * \frac{3,4 * 10^3 * 10,3^4}{210 * 10^9 * 1,62 * 10^{-3}} = 1,5 \text{ mm}$$

Průhyb od svislého pohyblivého zatížení:



Obr. 44: Umístění soustavy sil na nosníku.

$$Q_{r,k} = 131,28 \text{ kN}$$

$$x = \frac{L}{2} = \frac{10,3}{2} = 5,15 \text{ m}$$

$$a = 3,74 \text{ m (rozvor kol)}$$

$$z = x - \frac{a}{2} = 5,15 - \frac{3,74}{2} = 3,28 \text{ m}$$

$$\left. \begin{aligned} \xi_1 &= \frac{z}{L} = \frac{3,28}{10,3} = 0,318 \\ \xi_2 &= \frac{x}{L} = \frac{5,15}{10,3} = 0,5 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \eta_1 = \eta_2 = 0,01707 \text{ (pořadnice příčnickové čáry)}$$

$$w_{Q_r} = 2Q_r \eta \frac{L^3}{EI_y} = 2 * 131,28 * 10^3 * 0,01707 * \frac{10,3^3}{210 * 10^9 * 1,62 * 10^{-3}} = 14,4 \text{ mm}$$

Celkový průhyb:

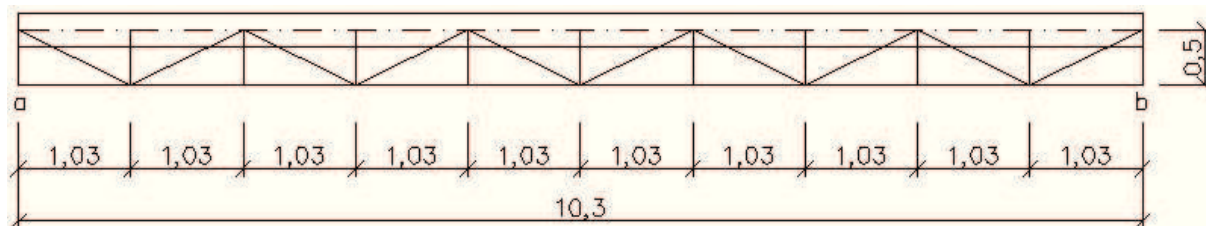
$$w_{celk} = w_g + w_{Q_r} = 1,5 + 14,4 = 15,9 \text{ mm} \leq w_{lim} = \frac{L}{600} = \frac{10,3}{600} = 17,2 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

## 6.11 VODOROVNÝ VÝZTUŽNÝ NOSNÍK

### 6.11.1 Geometrie a statický model

Vodorovný nosník pro zachycení příčných vodorovných sil je navržen jako příhradový. Oba konce nosníku jsou prostě uloženy na sloupech příčné vazby haly. Další dvě podpory jsou umístěny uvnitř rozpětí nosníku tak, že ve třetinách rozpětí jsou umístěny šikmé vzpěry podporující pásový prut vodorovného nosníku. Styčníky vodorovného výztužného nosníku jsou u horního pásu hlavního nosníku posunuty mimo těžištní osu pásu na jeho okraj. Vliv přidavných ohybových momentů od excentrického připojení je malý a lze jej zanedbat.



Obr. 45: Geometrické schéma vodorovného nosníku.

### 6.11.2 Výpočet zatížení

Stálé zatížení (vodorovný výztužný nosník a obslužná lávka – odhad):

$$g_k = 1,2 \text{ kN/m}$$

$$g_d = \gamma_g * g_k = 1,35 * 1,2 = 1,62 \text{ kN/m}$$

Užitné zatížení na lávce:

$$q_{k,p} = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

Předpokládaná šířka lávky: 400 mm

$$q_k = 0,4 * 1,5 = 0,6 \text{ kN/m}$$

$$q_d = \gamma_q * q_k = 1,5 * 0,6 = 0,9 \text{ kN/m}$$

Vodorovné příčné zatížení od jeřábu:

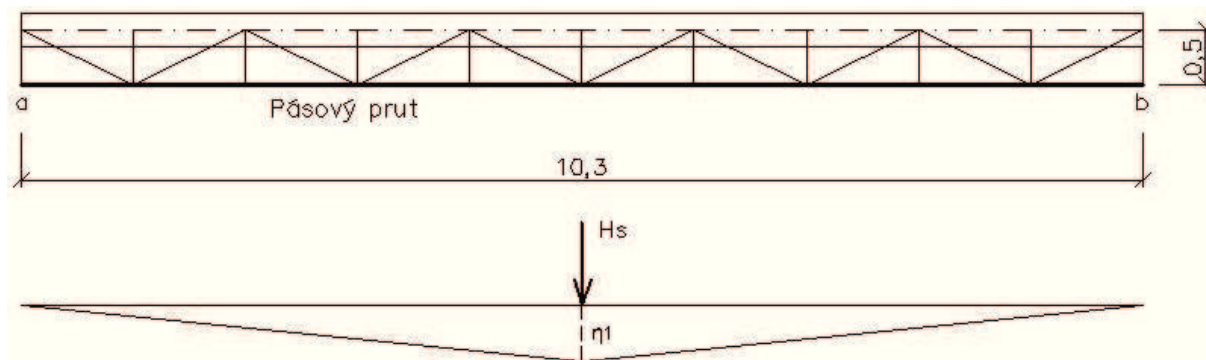
$$H_{S,k} = 23,34 \text{ kN}$$

$$H_{S,d} = \gamma_{Q,sup} * H_{T,2,k} = 1,35 * 23,34 = 31,51 \text{ kN}$$

### 6.11.3 Pásový prut

#### 6.11.3.1 Vnitřní síly od příčného zatížení:

Největší osovou sílu v pásu vyvolá příčná vodorovná síla od přičení mostu jeřábu  $H_s$ . Polohu této síly a následně velikost osově síly v pásu určíme pomocí příčnickové čáry, podle obrázku 46.



Obr. 46: Příčnicková čára a působišťe síly.

Maximální osová síla v pásu:

$$\eta_1 = \frac{1}{4} * \frac{L}{B} = \frac{1}{4} * \frac{10,3}{0,5} = 5,15$$

$$N_{Ed} = H_{S,d} * \eta_1 = 31,51 * 5,15 = 162,3 \text{ kN}$$

## 6.11.3.2 Vnitřní síly od svislého zatížení:

Ve svislém směru působí pásový prut jako spojitý nosník o třech polích, který je podporován na krajích sloupy příčné vazby haly a v polích šikmými vzpěrami ve třetinách rozpětí. Pásový prut přebírá polovinu svislého zatížení.

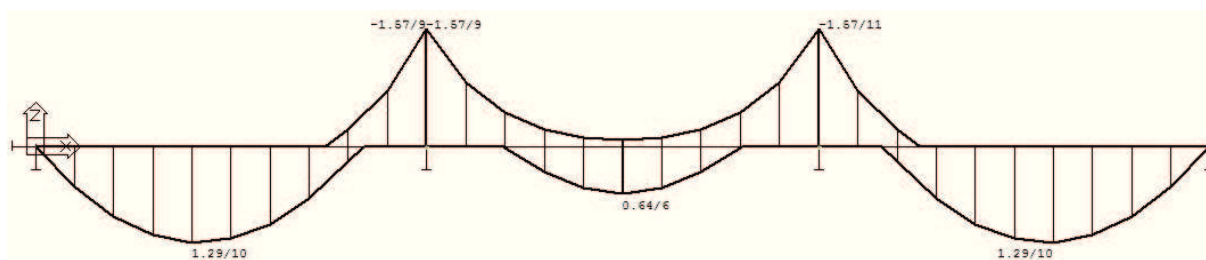
$$g_{k,p} = 0,5 * 1,2 = 0,6 \text{ kN/m}$$

$$g_d = \gamma_g * g_{k,p} = 1,35 * 0,6 = 0,81 \text{ kN/m}$$

$$q_{k,p} = 0,5 * 0,6 = 0,3 \text{ kN/m}$$

$$q_d = \gamma_q * q_{k,p} = 1,5 * 0,3 = 0,45 \text{ kN/m}$$

Ohybové momenty:



Obr. 47: Průběh ohybových momentů na pásovém prutu.

$$M_{Ed} = 1,57 \text{ kNm}$$

### 6.11.3.3 Návrh pásového prutu, průřezové charakteristiky:

Pásový prut je navržen jako tyč poloviny průřezu HEB 140 z oceli S235.

$$A = 2,15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

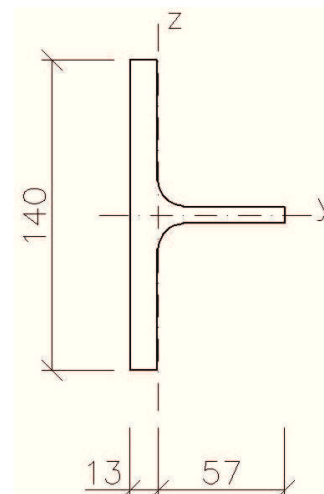
$$I_y = 2,75 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_z = 5,36 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$W_y = 3,93 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$I_t = 1 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_w \approx 0 \text{ m}^6$$



Obr. 48: Průřez poloviny HEB 140.

### 6.11.3.4 Zatřídění průřezu:

$$t_f = 12 \text{ mm} \text{ (tloušťka pásnice)}$$

$$t_w = 7 \text{ mm} \text{ (tloušťka stojiny)}$$

$$r = 12 \text{ mm} \text{ (poloměr zaoblení)}$$

$$\text{Pásnice: } c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{140}{2} - \frac{7}{2} - 12 = 54,5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{54,5}{12} = 4,54 \leq 9\varepsilon = 9 \dots \text{třída 1}$$

$$\text{Stojina: } c = \frac{h}{2} - t_f - r = \frac{140}{2} - 12 - 12 = 46 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{46}{8} = 5,75 \leq 9\varepsilon = 9 \dots \text{třída 1}$$

### 6.11.3.5 Posouzení na ohyb a tlak s vlivem stability:

Vstupní hodnoty pro stabilitní posudek:

$$L_{cr,y} = 3433 \text{ mm} \text{ (vzdálenost šikmých vzpěr)}$$

$$L_{cr,z} = 1030 \text{ mm} \text{ (vzdálenost styčníků příhradového nosníku)}$$

$$L_{LT} = 1030 \text{ mm} \text{ (vzdálenost styčníků příhradového nosníku)}$$

Vzpěr kolmo k y-y:

$$\lambda_y = L_{cr,y} \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 3,433 \sqrt{\frac{2,15 \cdot 10^{-3}}{2,75 \cdot 10^{-6}}} = 95,99$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot 1 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{95,99}{93,9} = 1,02 \quad \text{křivka c} \quad \chi_y = 0,528$$

Vzpěr kolmo k z-z:

$$\lambda_z = L_{cr,z} \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 1,03 \sqrt{\frac{2,15 * 10^{-3}}{5,36 * 10^{-7}}} = 65,23$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{65,23}{93,9} = 0,7 \quad \text{křivka } \mathbf{b} \quad \chi_z = 0,784$$

Klopení:

$k_z = 1$  (na obou koncích úseku o délce  $L_{LT}$  je umožněno natočení kolem osy z-z)

$k_w = 1$  (deplanaci není na koncích úseku o délce  $L_{LT}$  bráněno)

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L_{LT}} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1 * 1,03} \sqrt{\frac{210 * 10^9 * 0}{81 * 10^9 * 1 * 10^{-7}}} = 0 \Rightarrow \text{uvažujeme } C_{1,0}$$

$$\psi = \frac{M_s}{M_h} = \frac{0,64}{-1,57} = -0,41$$

$C_{1,0} = 2,23$  (určeno lineární interpolací z tab. NB.3.1 v ČSN EN 1993-1-1)

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} = \frac{2,23}{1} \sqrt{1 + 0^2} = 2,23$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L_{LT}} = 2,23 \frac{\pi \sqrt{210 * 10^9 * 5,36 * 10^{-7} * 81 * 10^9 * 1 * 10^{-7}}}{1,03} = 208,4 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{3,93 * 10^{-5} * 235 * 10^6}{208,4 * 10^3}} = 0,21 \leq 0,4 \dots \text{ klopení se neuplatní}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0,21 \Rightarrow \chi_{LT} = 0,996$$

Výpočet  $C_{my}$ :

$$M_s = 0,64 \text{ kNm}$$

$$M_h = -1,57 \text{ kNm}$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{0,64}{-1,57} = -0,41$$

$$C_{my} = 0,1 * (1 - \psi) - 0,8 * \alpha_s = 0,1 * (1 - (-0,41)) - 0,8 * (-0,41) = 0,469 \geq 0,4$$

Výpočet  $C_{mLT}$ :

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4\psi = 0,6 + 0,4 * (-0,41) = 0,436 \geq 0,4$$

Určení interakčních součinitelů:

$$N_{Rk} = A * f_y = 2,15 * 10^{-3} * 235 * 10^6 = 505,3 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_y * f_y = 3,93 * 10^{-5} * 235 * 10^6 = 9,2 \text{ kNm}$$

$$k_{yy} = C_{my} \left( 1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} \right) = 0,469 \left( 1 + 0,6 * 1,02 \frac{162,3 * 10^3}{\frac{0,528 * 505,3 * 10^3}{1}} \right) = 0,644$$

$$k_{yy} \leq C_{my} \left( 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} \right) = 0,469 \left( 1 + 0,6 \frac{162,3 * 10^3}{\frac{0,528 * 505,3 * 10^3}{1}} \right) = 0,64 \Rightarrow k_{yy} = 0,64$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,05 * \bar{\lambda}_z}{(C_{m,LT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 1 - \frac{0,05 * 0,7}{(0,436 - 0,25)} \frac{162,3 * 10^3}{\frac{0,784 * 505,3 * 10^3}{1}} = 0,923$$

$$k_{zy} \geq 1 - \frac{0,05}{(C_{m,LT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 1 - \frac{0,05}{(0,436 - 0,25)} \frac{162,3 * 10^3}{\frac{0,784 * 505,3 * 10^3}{1}} = 0,89$$

$$k_{zy} = 0,923 \geq 0,89 \Rightarrow k_{zy} = 0,923$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{162,3 * 10^3}{\frac{0,528 * 505,3 * 10^3}{1}} + 0,64 \frac{1,57 * 10^3}{\frac{0,996 * 9,2 * 10^3}{1}} = 0,718 \leq 1 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

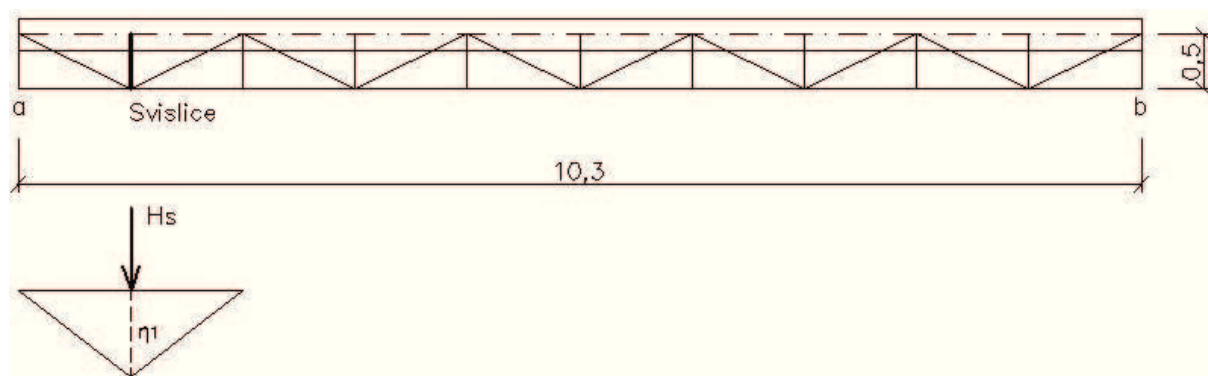
$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{162,3 * 10^3}{\frac{0,784 * 505,3 * 10^3}{1}} + 0,923 \frac{1,57 * 10^3}{\frac{0,996 * 9,2 * 10^3}{1}} = 0,568 \leq 1 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

#### 6.11.4 Svislice

Svislice příhradové soustavy vodorovného výztužného nosníku jsou namáhány osovou silou, která je vyvolaná vodorovným příčným zatížením a může působit tlakem nebo tahem.

##### 6.11.4.1 Vnitřní síly:



Obr. 49: Příčnicková čára a působíště síly.

Maximální osová síla v pásu:

$$\eta_1 = 1$$

$$N_{Ed} = H_{S,d} * \eta_1 = 31,51 * 1 = 31,51 \text{ kN}$$

## 6.11.4.2 Návrh průřezu svislice, průřezové charakteristiky:

Svislice jsou navrženy z válcovaných tyčí průřezu rovnoramenného L z oceli S 235. Navržený profil L 35x4.

$$A = 2,67 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_y = 2,97 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

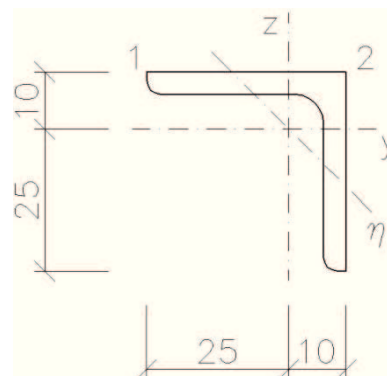
$$I_z = 2,97 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_\eta = 1,25 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$W_{\eta 1} = 1,01 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$W_{\eta 2} = 8,8 * 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$i_\eta = 6,84 * 10^{-3} \text{ m}$$



Obr. 50: Průřez L 35x4.

## 6.11.4.3 Zatřídění průřezu:

$$h = 35 \text{ mm} \text{ (šířka příruby)}$$

$$t = 4 \text{ mm} \text{ (tloušťka příruby)}$$

$$\frac{h}{t} = \frac{35}{4} = 8,75 \leq 15\varepsilon = 15 \dots \text{třída 3}$$

## 6.11.4.4 Posouzení svislice na tlak se vzpěrem

$$L_{cr} = 500 \text{ mm}$$

$$\lambda_\eta = \frac{L_{cr}}{i_\eta} = \frac{0,5}{6,84 * 10^{-3}} = 73,1$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 * 1 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_\eta = \frac{\lambda_\eta}{\lambda_1} = \frac{73,1}{93,9} = 0,78 \quad \text{křivka } \mathbf{b} \quad \chi_\eta = 0,737$$

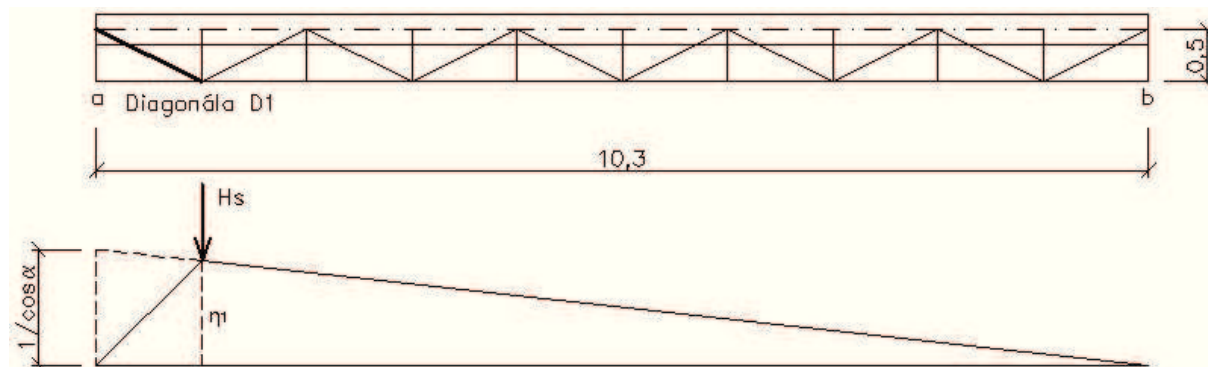
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_\eta * A * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,737 * 2,67 * 10^{-4} * 235 * 10^6}{1} = 46,24 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{31,51}{46,24} = 0,68 \leq 1 \dots \text{VYHOVUJE}$$



### 6.11.5 Diagonála D1

#### 6.11.5.1 Vnitřní síly:



Obr. 51: Příčnicková čára a působíště síly.

Výpočet pořadnice příčnickové čáry:

$$l = \sqrt{0,5^2 + 1,03^2} = 1,145 \text{ m}$$

$$\cos \alpha = \frac{0,5}{1,145} = 0,437$$

$$\eta_0 = \frac{1}{\cos \alpha} = \frac{1}{0,437} = 2,288$$

$$\eta_1 = \eta_0 \frac{9}{10} = 2,288 * \frac{9}{10} = 2,06$$

Maximální osová síla v pásu:

$$\eta_1 = 2,06$$

$$N_{Ed} = H_{S,d} * \eta_1 = 31,51 * 2,06 = 64,9 \text{ kN}$$

#### 6.11.5.2 Návrh průřezu diagonály, průřezové charakteristiky:

Diagonály jsou navrženy z válcovaných tyčí průřezu rovnoramenného L z oceli S 235.  
Navržený profil L 60x6.

$$A = 6,91 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_y = 2,9 * 10^{-7} \text{ m}^4$$

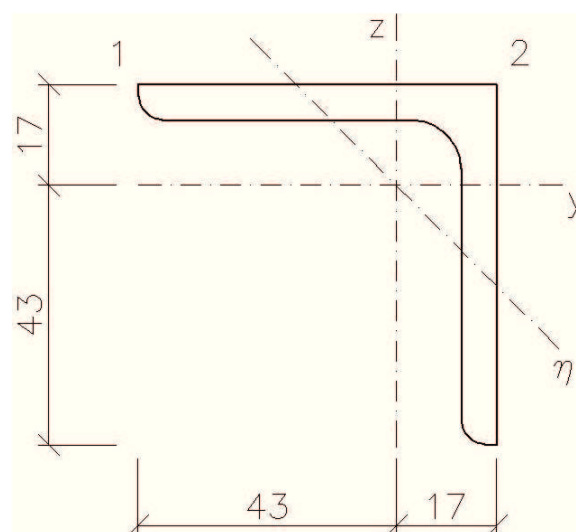
$$I_z = 2,29 * 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_\eta = 9,61 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$W_{\eta 1} = 4,53 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$W_{\eta 2} = 4,04 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$i_\eta = 11,8 * 10^{-3} \text{ m}$$



Obr. 52: Průřez L 60x6.

### 6.11.5.3 Zatřídění průřezu:

$h = 60 \text{ mm}$  (šířka příruby)

$t = 6 \text{ mm}$  (tloušťka příruby)

$$\frac{h}{t} = \frac{60}{6} = 10 \leq 15\varepsilon = 15 \dots \text{třída 3}$$

### 6.11.5.4 Posouzení diagonály na tlak se vzpěrem:

$$L_{cr} = 1,145 \text{ mm}$$

$$\lambda_{\eta} = \frac{L_{cr}}{i_{\eta}} = \frac{1,145}{11,8 \cdot 10^{-3}} = 97$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot 1 = 93,9$$

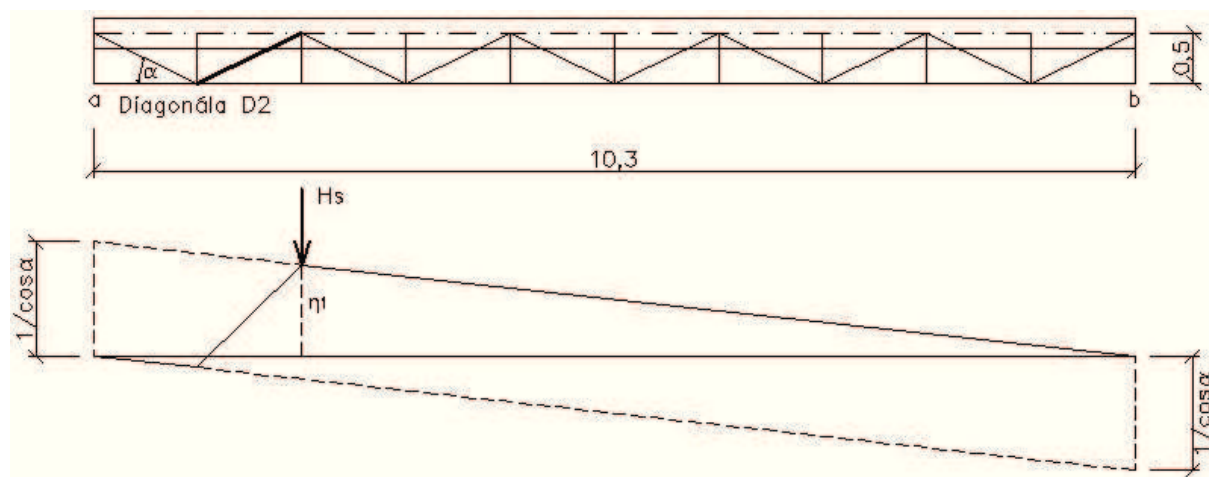
$$\bar{\lambda}_{\eta} = \frac{\lambda_{\eta}}{\lambda_1} = \frac{97}{93,9} = 1,03 \quad \text{křivka b} \quad \chi_{\eta} = 0,578$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{\eta} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,578 \cdot 6,91 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1} = 93,8 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{64,9}{93,8} = 0,69 \leq 1 \dots \text{VYHOVUJE}$$

### 6.11.6 Diagonála D2

#### 6.11.6.1 Vnitřní síly:



Obr. 53: Příčnicková čára a působíště síly.

Výpočet pořadnice příčnickové čáry:

$$l = \sqrt{0,5^2 + 1,03^2} = 1,145 \text{ m}$$

$$\cos \alpha = \frac{0,5}{1,145} = 0,437$$

$$\eta_0 = \frac{1}{\cos \alpha} = \frac{1}{0,437} = 2,288$$

$$\eta_1 = \eta_0 \frac{8}{10} = 2,288 * \frac{8}{10} = 1,83$$

Maximální osová síla v pásu:

$$\eta_1 = 1,83$$

$$N_{Ed} = H_{S,d} * \eta_1 = 31,51 * 1,83 = 57,66 \text{ kN}$$

#### 6.11.6.2 Návrh průřezu diagonály, průřezové charakteristiky:

Diagonály jsou navrženy z válcovaných tyčí průřezu rovnoramenného L z oceli S 235. Navržený profil L 55x5.

$$A = 5,32 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_y = 1,48 * 10^{-7} \text{ m}^4$$

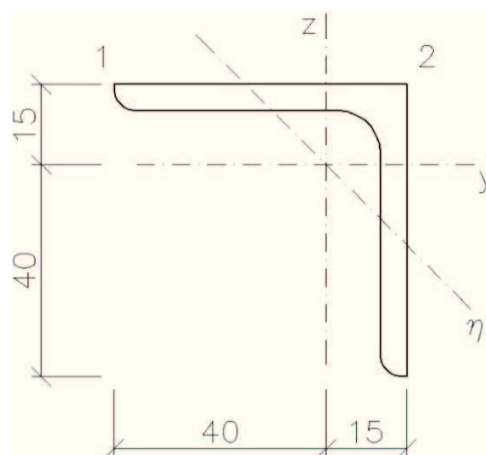
$$I_z = 1,48 * 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_\eta = 6,26 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$W_{\eta 1} = 3,24 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$W_{\eta 2} = 2,93 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$i_\eta = 10,8 * 10^{-3} \text{ m}$$



Obr. 54: Průřez L 55x5.

#### 6.11.6.3 Zatřídění průřezu:

$$h = 55 \text{ mm} \text{ (šířka příruby)}$$

$$t = 5 \text{ mm} \text{ (tloušťka příruby)}$$

$$\frac{h}{t} = \frac{55}{5} = 11 \leq 15\varepsilon = 15 \dots \text{třída 3}$$

#### 6.11.6.4 Posouzení diagonály na tlak se vzpěrem:

$$L_{cr} = 1,145 \text{ mm}$$

$$\lambda_\eta = \frac{L_{cr}}{i_\eta} = \frac{1,145}{10,8 * 10^{-3}} = 106,02$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 * 1 = 93,9$$

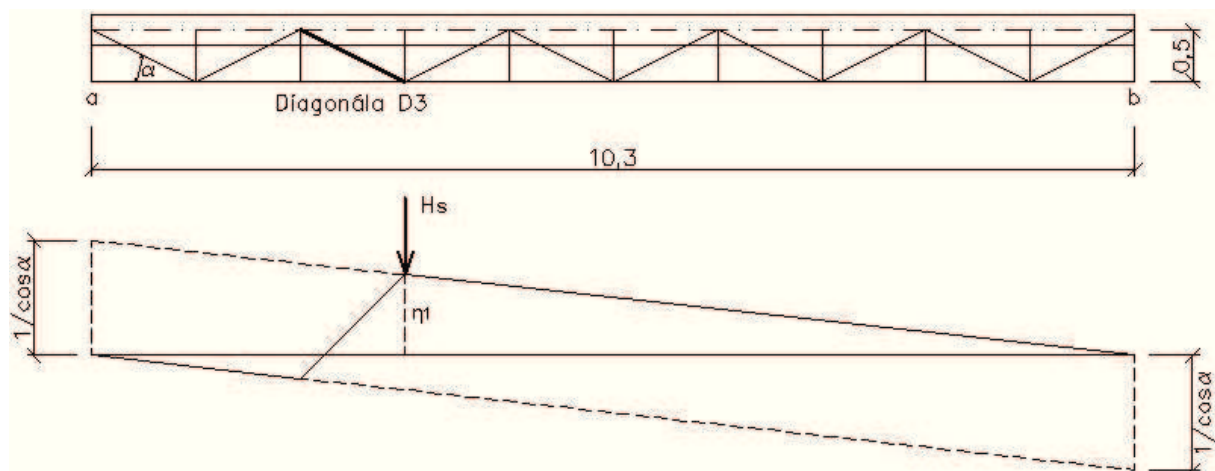
$$\bar{\lambda}_{\eta} = \frac{\lambda_{\eta}}{\lambda_1} = \frac{106,02}{93,9} = 1,13 \quad \text{křivka } \mathbf{b} \quad \chi_{\eta} = 0,518$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{\eta} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,518 \cdot 5,32 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1} = 64,7 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{57,66}{64,7} = 0,89 \leq 1 \quad \dots \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

### 6.11.7 Diagonála D3

#### 6.11.7.1 Vnitřní síly:



Obr. 55: Příčnicková čára a působíště síly.

Výpočet pořadnice příčnickové čáry:

$$l = \sqrt{0,5^2 + 1,03^2} = 1,145 \text{ m}$$

$$\cos \alpha = \frac{0,5}{1,145} = 0,437$$

$$\eta_0 = \frac{1}{\cos \alpha} = \frac{1}{0,437} = 2,288$$

$$\eta_1 = \eta_0 \cdot \frac{7}{10} = 2,288 \cdot \frac{7}{10} = 1,6$$

Maximální osová síla v pásu:

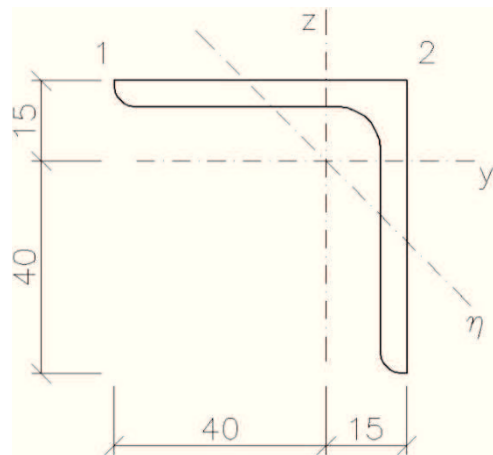
$$\eta_1 = 1,6$$

$$N_{Ed} = H_{S,d} \cdot \eta_1 = 31,51 \cdot 1,6 = 50,42 \text{ kN}$$

#### 6.11.7.2 Návrh průřezu diagonály, průřezové charakteristiky:

Diagonály jsou navrženy z válcovaných tyčí průřezu rovnoramenného L z oceli S 235. Navržený profil L 55x5.

$$\begin{aligned} A &= 5,32 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\ I_y &= 1,48 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4 \\ I_z &= 1,48 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4 \\ I_\eta &= 6,26 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 \\ W_{\eta 1} &= 3,24 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \\ W_{\eta 2} &= 2,93 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \\ i_\eta &= 10,8 \cdot 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$



Obr. 56: Průřez L 55x5.

#### 6.11.7.3 Zatřídění průřezu:

$$\begin{aligned} h &= 55 \text{ mm} \text{ (šířka příruby)} \\ t &= 5 \text{ mm} \text{ (tloušťka příruby)} \end{aligned}$$

$$\frac{h}{t} = \frac{55}{5} = 11 \leq 15\varepsilon = 15 \dots \text{třída 3}$$

#### 6.11.7.4 Posouzení diagonály na tlak se vzpěrem:

$$L_{cr} = 1,145 \text{ mm}$$

$$\lambda_\eta = \frac{L_{cr}}{i_\eta} = \frac{1,145}{10,8 \cdot 10^{-3}} = 106,02$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot 1 = 93,9$$

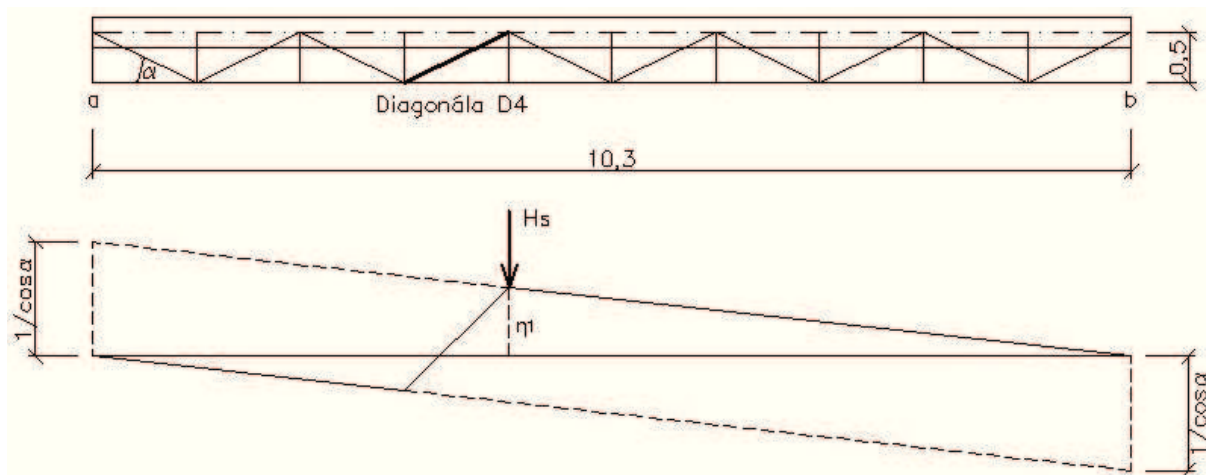
$$\bar{\lambda}_\eta = \frac{\lambda_\eta}{\lambda_1} = \frac{106,02}{93,9} = 1,13 \quad \text{křivka b} \quad \chi_\eta = 0,518$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_\eta \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,518 \cdot 5,32 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1} = 64,7 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{50,42}{64,7} = 0,78 \leq 1 \dots \text{VYHOVUJE}$$

### 6.11.8 Diagonála D4

#### 6.11.8.1 Vnitřní síly:



Obr. 57: Příčnicková čára a působíště síly.

Výpočet pořadnice příčnickové čáry:

$$l = \sqrt{0,5^2 + 1,03^2} = 1,145 \text{ m}$$

$$\cos \alpha = \frac{0,5}{1,145} = 0,437$$

$$\eta_0 = \frac{1}{\cos \alpha} = \frac{1}{0,437} = 2,288$$

$$\eta_1 = \eta_0 \frac{6}{10} = 2,288 * \frac{6}{10} = 1,37$$

Maximální osová síla v pásu:

$$\eta_1 = 1,37$$

$$N_{Ed} = H_{S,d} * \eta_1 = 31,51 * 1,37 = 43,17 \text{ kN}$$

#### 6.11.8.2 Návrh průřezu diagonály, průřezové charakteristiky:

Diagonály jsou navrženy z válcovaných tyčí průřezu rovnoramenného L z oceli S 235. Navržený profil L 50x5.

$$A = 4,8 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_y = 1,1 * 10^{-7} \text{ m}^4$$

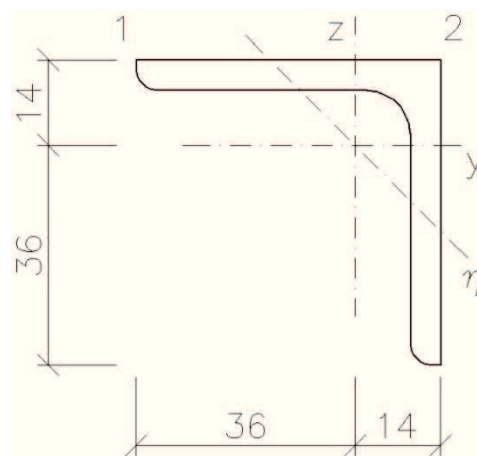
$$I_z = 1,1 * 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_\eta = 4,64 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$W_{\eta 1} = 2,64 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$W_{\eta 2} = 2,34 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$i_\eta = 9,8 * 10^{-3} \text{ m}$$



Obr. 58: Průřez L 50x5.



### 6.11.8.3 Zatřídění průřezu:

$h = 50 \text{ mm}$  (šířka příruby)

$t = 5 \text{ mm}$  (tloušťka příruby)

$$\frac{h}{t} = \frac{50}{5} = 10 \leq 15\varepsilon = 15 \dots \text{třída 3}$$

### 6.11.8.4 Posouzení diagonály na tlak se vzpěrem:

$$L_{cr} = 1,145 \text{ mm}$$

$$\lambda_{\eta} = \frac{L_{cr}}{i_{\eta}} = \frac{1,145}{9,8 \cdot 10^{-3}} = 116,8$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot 1 = 93,9$$

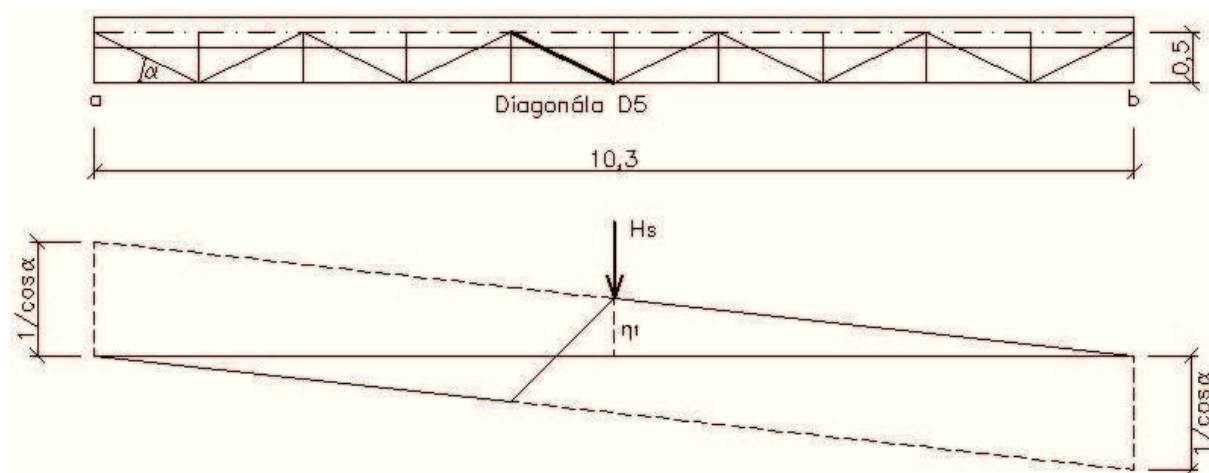
$$\bar{\lambda}_{\eta} = \frac{\lambda_{\eta}}{\lambda_1} = \frac{116,8}{93,9} = 1,24 \quad \text{křivka b} \quad \chi_{\eta} = 0,457$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{\eta} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,457 \cdot 4,8 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1} = 51,5 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{43,17}{51,5} = 0,84 \leq 1 \dots \text{VYHOVUJE}$$

## 6.11.9 Diagonála D5

### 6.11.9.1 Vnitřní síly:



Obr. 59: Příčnicková čára a působišťe síly.

Výpočet pořadnice příčnickové čáry:

$$l = \sqrt{0,5^2 + 1,03^2} = 1,145 \text{ m}$$

$$\cos \alpha = \frac{0,5}{1,145} = 0,437$$

$$\eta_0 = \frac{1}{\cos \alpha} = \frac{1}{0,437} = 2,288$$

$$\eta_1 = \eta_0 \frac{5}{10} = 2,288 * \frac{5}{10} = 1,144$$

Maximální osová síla v pásu:

$$\eta_1 = 1,144$$

$$N_{Ed} = H_{S,d} * \eta_1 = 31,51 * 1,144 = 36,05 \text{ kN}$$

#### 6.11.9.2 Návrh průřezu diagonály, průřezové charakteristiky:

Diagonály jsou navrženy z válcovaných tyčí průřezu rovnoramenného L z oceli S 235. Navržený profil L 50x5.

$$A = 4,8 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_y = 1,1 * 10^{-7} \text{ m}^4$$

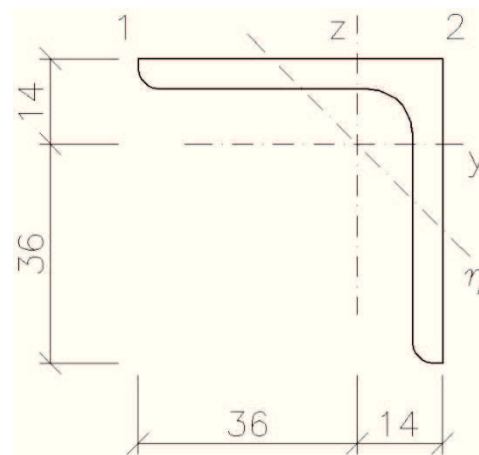
$$I_z = 1,1 * 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_\eta = 4,64 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$W_{\eta 1} = 2,64 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$W_{\eta 2} = 2,34 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$i_\eta = 9,8 * 10^{-3} \text{ m}$$



Obr. 60: Průřez L 50x5.

#### 6.11.9.3 Zatřídění průřezu:

$h = 50 \text{ mm}$  (šířka příruby)

$t = 5 \text{ mm}$  (tloušťka příruby)

$$\frac{h}{t} = \frac{50}{5} = 10 \leq 15 \varepsilon = 15 \dots \text{třída 3}$$

#### 6.11.9.4 Posouzení diagonály na tlak se vzpěrem:

$$L_{cr} = 1,145 \text{ mm}$$

$$\lambda_\eta = \frac{L_{cr}}{i_\eta} = \frac{1,145}{9,8 * 10^{-3}} = 116,8$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 * 1 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_\eta = \frac{\lambda_\eta}{\lambda_1} = \frac{116,8}{93,9} = 1,24 \quad \text{křivka b} \quad \chi_\eta = 0,457$$

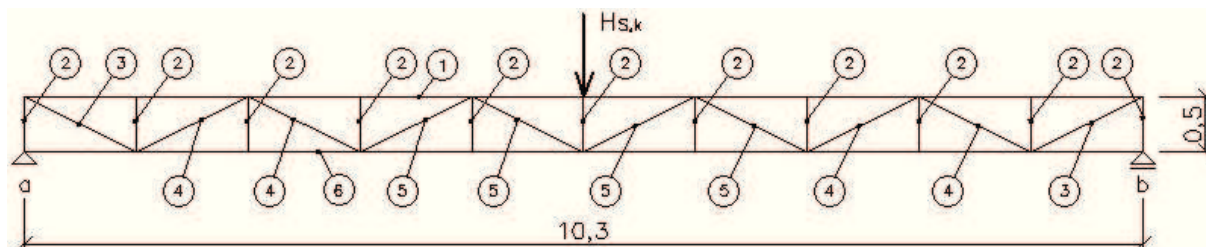
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{\eta} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,457 \cdot 4,8 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1} = 51,5 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{36,05}{51,5} = 0,7 \leq 1 \dots \text{VYHOVUJE}$$

#### 6.11.10 Mezní stav použitelnosti – posouzení vodorovného průhybu

Postavení soustavy sil je shodné s postavením pro výpočet extrémní síly v pásu vodorovného výztužného nosníku (viz. kapitola 6.11.3). Průhyb příčného nosníku v horizontální rovině j posouzen pomocí výpočetního systému NEXIS.

##### 6.11.10.1 Statické schéma a přiřazení profilů prutů:



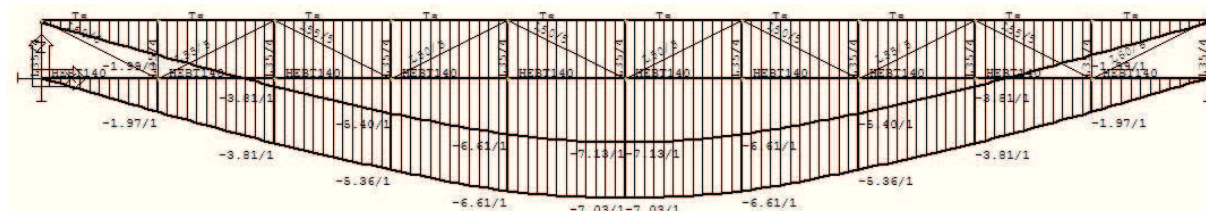
Obr. 61: Statické schéma a čísla profilů prutů.

Příhradový vodorovný nosník je modelovaný s vloženými klouby na koncích svislic i diagonál.

Výpis profilů podle čísel na obrázku 61:

- 1 ... Ts 300x30
- 2 ... L 35x4
- 3 ... L 60x6
- 4 ... L 55x5
- 5 ... L 50x5
- 6 ... HEBT 140

##### 6.11.10.2 Posouzení průhybu:



Obr. 62: Průhyb pásových prutů v horizontální rovině.

$$\delta_{y,max} = 7,13 \text{ mm} \leq \delta_{y,lim} = \frac{L}{1000} = \frac{10300}{1000} = 10,3 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

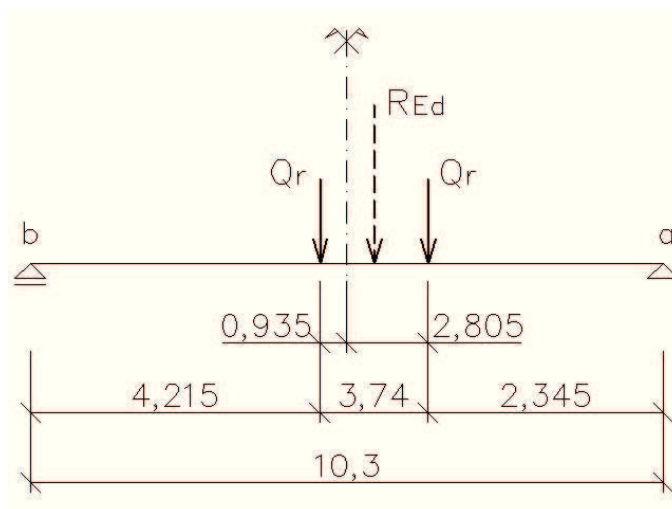
## 6.12 POSOUZENÍ HLAVNÍHO NOSNÍKU NA ÚNAVU

### 6.12.1 Únavové zatížení a určení součinitelů

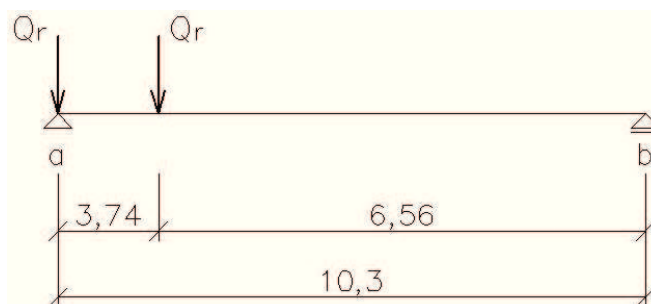
Vnitřní síly od únavového zatížení jsou spočítány pomocí programu Nexis.

Pro posouzení na únavu je zvolena metoda bezpečné životnosti:

- Součinitel zatížení při posudku na únavu:  $\gamma_{Ff} = 1,00$
- Součinitel únavové pevnosti:  $\gamma_{Mf} = 1,35$



Obr. 63: Postavení břemen pro určení  $M_{max}$ .



Obr. 64: Postavení břemen pro určení  $V_{max}$ .

- Největší síla od kol jeřábu:  $Q_{r,k} = 131,28 \text{ kN}$
- Největší moment:  $M_{Ed} = 452,9 \text{ kNm}$
- Reakce v levé podpoře ( $M_{max}$ ):  $A_{Ed} = 107,45 \text{ kN}$
- Reakce v levé podpoře ( $V_{max}$ ):  $A_{Ed,V} = 214,9 \text{ kN}$

Napětí od únavového zatížení v krajních vláknech:

$$\sigma_{x,max} = \frac{M_{Ed}}{W_{y,el}} = \frac{452,9 \cdot 10^3}{5,4 \cdot 10^{-3}} = 83,87 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,min} = 0 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_x = 83,87 \text{ MPa}$$

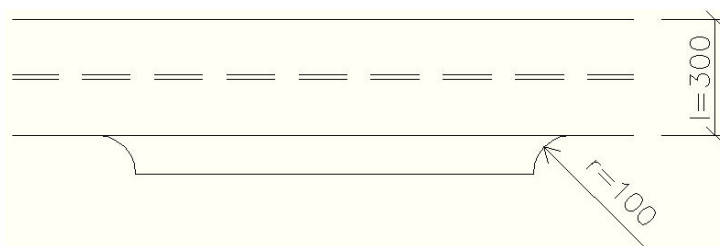
Návrhové spektrum zatížení:

Předpokládá se, že během životnosti bude jeřáb zatížen čtyřmi miliony zatěžovacími cykly. Přehled procentuálního podílu zatížení a počtu zatěžovacích cyklů je uveden v tabulce.

Tab. 8: Rozložení spektra zatížení.

Zatížení (%)	Počet cyklů (%)
100	5
80	10
60	15
50	40
35	20
20	10

### 6.12.2 Posouzení pásnice v místě svaru styčnickového plechu



Obr. 65: Svarový přípoj pásnice a styčnicku.

Kategorie detailu:

Připojení styčnickového plechu k pásnici hlavního nosníku je navrženo se zaoblením 100 mm  
=> kategorie detailu.

$$\frac{r}{l} = \frac{100}{300} = \frac{1}{3} \geq \frac{1}{3} \Rightarrow \text{kategorie detailu 90}$$

$$\Delta\sigma_C = 90 \text{ MPa}$$

Mez únavy při konstantní amplitudě pro danou kategorii detailu:

$$\Delta\sigma_D = \sqrt[3]{\frac{2}{5}} * \Delta\sigma_C = \sqrt[3]{\frac{2}{5}} * 90 = 66,31 \text{ MPa}$$

Prahový rozkmit napětí:

$$\Delta\sigma_L = \sqrt[5]{\frac{5}{100}} * \Delta\sigma_D = \sqrt[5]{\frac{5}{100}} * 66,31 = 36,42 \text{ MPa}$$

Mezní počet cyklů – podmínky pro užití vzorců:

- Je-li  $\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i \geq \Delta\sigma_D$  tak  $N_i = 5 * 10^6 \left( \frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i} \right)^3$
- Je-li  $\Delta\sigma_D > \gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i \geq \Delta\sigma_L$  tak  $N_i = 5 * 10^6 \left( \frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i} \right)^5$
- Je-li  $\Delta\sigma_L > \gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i$  tak  $N_i = \infty$

Mezní počet cyklů – výpočet:

Tab. 9: Mezní počet cyklů.

Vytížení (%)	$\Delta\sigma_i$ (Mpa)	$\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i$ (Mpa)	Procento cyklů	Počet cyklů $n_i$ ( $\cdot 10^6$ )	$N_i$ ( $\cdot 10^6$ )	$n_i/N_i$
100	83,870	113,225	5	0,2	1,004	0,199
80	67,096	90,580	10	0,4	1,962	0,204
60	50,322	67,935	15	0,6	4,650	0,129
50	41,935	56,612	40	1,6	11,025	0,145
35	29,355	39,629	20	0,8	65,600	0,012
20	16,774	22,645	10	0,4	$\infty$	0,000
<b>Celkem</b>				<b>4,0</b>		<b>0,689</b>
Kategorie detailu		90				
Mez únavy		66,313				
Prahový rozkmit		36,424				

Posouzení celkového poškození:

$$D_d = \sum_i \frac{n_i}{N_i} = 0,689 \leq 1 \dots \text{VYHOVUJE}$$

### 6.12.3 Pásnice v místě otvoru pro šrouby příložek kolejnice

Kategorie detailu:

Nosný prvek s dírami pro šrouby namáhaný ohybem a osovými silami => kategorie detailu 90.

$$\Delta\sigma_C = 90 \text{ MPa}$$

Mez únavy při konstantní amplitudě pro danou kategorii detailu:

$$\Delta\sigma_D = \sqrt[3]{\frac{2}{5}} * \Delta\sigma_C = \sqrt[3]{\frac{2}{5}} * 90 = 66,31 \text{ MPa}$$

Prahový rozkmit napětí:

$$\Delta\sigma_L = \sqrt[5]{\frac{5}{100}} * \Delta\sigma_D = \sqrt[5]{\frac{5}{100}} * 66,31 = 36,42 \text{ MPa}$$

Mezní počet cyklů – podmínky pro užití vzorců:

- Je-li  $\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i \geq \Delta\sigma_D$  tak  $N_i = 5 * 10^6 \left( \frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i} \right)^3$
- Je-li  $\Delta\sigma_D > \gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i \geq \Delta\sigma_L$  tak  $N_i = 5 * 10^6 \left( \frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i} \right)^5$
- Je-li  $\Delta\sigma_L > \gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i$  tak  $N_i = \infty$

Mezní počet cyklů – výpočet:

Tab. 10: Mezní počet cyklů.

Vytížení (%)	$\Delta\sigma_i$ (Mpa)	$\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i$ (Mpa)	Procento cyklů	Počet cyklů $n_i$ ( $\cdot 10^6$ )	$N_i$ ( $\cdot 10^6$ )	$n_i/N_i$
100	83,870	113,225	5	0,2	1,004	0,199
80	67,096	90,580	10	0,4	1,962	0,204
60	50,322	67,935	15	0,6	4,650	0,129
50	41,935	56,612	40	1,6	11,025	0,145
35	29,355	39,629	20	0,8	65,600	0,012
20	16,774	22,645	10	0,4	$\infty$	0,000
<b>Celkem</b>				<b>4,0</b>		<b>0,689</b>
Kategorie detailu		90				
Mez únavy		66,313				
Prahový rozkmit		36,424				

Posouzení celkového poškození:

$$D_d = \sum_i \frac{n_i}{N_i} = 0,689 \leq 1 \dots \text{VYHOVUJE}$$

#### 6.12.4 Posouzení pásnice v místě svaru výztuhy stojiny

Kategorie detailu a napětí v pásnici v místě svaru:

$$\Delta\sigma_x = 75,5 \text{ MPa}$$

Svislé výztuhy přivařené k svařovanému nosníku => kategorie detailu 80.

$$\Delta\sigma_C = 80 \text{ MPa}$$

Mez únavy při konstantní amplitudě pro danou kategorii detailu:

$$\Delta\sigma_D = \sqrt[3]{\frac{2}{5}} * \Delta\sigma_C = \sqrt[3]{\frac{2}{5}} * 80 = 58,94 \text{ MPa}$$

Prahový rozkmit napětí:

$$\Delta\sigma_L = \sqrt[5]{\frac{5}{100}} * \Delta\sigma_D = \sqrt[5]{\frac{5}{100}} * 58,94 = 32,37 \text{ MPa}$$

Mezní počet cyklů – podmínky pro užití vzorců:

- Je-li  $\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i \geq \Delta\sigma_D$  tak  $N_i = 5 * 10^6 \left( \frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i} \right)^3$
- Je-li  $\Delta\sigma_D > \gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i \geq \Delta\sigma_L$  tak  $N_i = 5 * 10^6 \left( \frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i} \right)^5$
- Je-li  $\Delta\sigma_L > \gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i$  tak  $N_i = \infty$



Mezní počet cyklů – výpočet:

Tab. 11: Mezní počet cyklů.

Vytížení (%)	$\Delta\sigma_i$ (Mpa)	$\gamma_{FF} \gamma_{MF} \Delta\sigma_i$ (Mpa)	Procento cyklů	Počet cyklů $n_i$ ( $\cdot 10^6$ )	$N_i$ ( $\cdot 10^6$ )	$n_i/N_i$
100	75,500	101,925	5	0,2	0,967	0,207
80	60,400	81,540	10	0,4	1,889	0,212
60	45,300	61,155	15	0,6	4,477	0,134
50	37,750	50,963	40	1,6	10,350	0,155
35	26,425	35,674	20	0,8	61,580	0,013
20	15,100	20,385	10	0,4	$\infty$	0,000
<b>Celkem</b>				<b>4,0</b>		<b>0,720</b>
Kategorie detailu		80				
Mez únavy		58,945				
Prahový rozkmit		32,377				

Posouzení celkového poškození:

$$D_d = \sum_i \frac{n_i}{N_i} = 0,72 \leq 1 \dots \text{VYHOVUJE}$$

### 6.12.5 Posouzení stojiny v místě koutových svarů

Kategorie detailu:

Automatové oboustranné koutové nebo tupé svary s místy přerušení svařování => kategorie detailu 112.

$$\Delta\sigma_C = 112 \text{ MPa}$$

Napětí působící v detailu:

Napětí působící v posuzovaném detailu je určeno podle 6.10.5.

- Podélné normálové napětí od ohybového momentu:  $\sigma_x = \frac{101,9}{1,35} = 75,5 \text{ MPa}$
- Smykové napětí od posouvající síly (postavení  $M_{\max}$ ):  $\tau_{xz} = \frac{19,09}{1,35} = 14,14 \text{ MPa}$
- Příčné normálové napětí od kolového tlaku:  $\sigma_z = \frac{63,7}{1,35} = 47,19 \text{ MPa}$
- Lokální smykové napětí od kolového tlaku:  $\tau_{lok} = \frac{12,74}{1,35} = 9,45 \text{ MPa}$
- Smykové napětí od posouvající síly (postavení  $V_{\max}$ ):  $\tau_{xz,V} = \frac{41,5}{1,35} = 30,74 \text{ MPa}$
- **Celkové smykové napětí (postavení  $M_{\max}$ ):**  $\tau = \tau_{xz} + \tau_{lok} = 23,59 \text{ MPa}$
- **Celkové smykové napětí (postavení  $V_{\max}$ ):**  $\tau_V = \tau_{xz,V} + \tau_{lok} = 44,88 \text{ MPa}$

Mez únavy při konstantní amplitudě pro danou kategorii detailu:

$$\Delta\sigma_D = \sqrt[3]{\frac{2}{5}} * \Delta\sigma_C = \sqrt[3]{\frac{2}{5}} * 112 = 82,52 \text{ MPa}$$

Prahový rozkmit napětí:

$$\Delta\sigma_L = \sqrt[5]{\frac{5}{100}} * \Delta\sigma_D = \sqrt[5]{\frac{5}{100}} * 82,52 = 45,33 \text{ MPa}$$

Srovnávací napětí:

$$\sigma^* = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x\sigma_z + 3\tau^2}$$

Kombinace napjatosti:

$$\sigma_1^* = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x\sigma_z + 3\tau^2}$$

$$\sigma_2^* = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xz}^2}$$

$$\sigma_3^* = \sqrt{\sigma_z^2 + 3\tau_v^2}$$

Tab. 12: Srovnávací napětí pro tři kombinace napjatosti.

Vytížení (%)	$\sigma_z$ (MPa)	$\sigma_x$ (MPa)	$\tau$ (MPa)	$\tau_{x,z}$ (MPa)	$\tau_v$ (MPa)	$\sigma_1^*$ (MPa)	$\sigma_2^*$ (MPa)	$\sigma_3^*$ (MPa)
100	47,19	75,50	23,59	14,14	44,88	77,68	79,37	<b>90,94</b>
80	37,75	60,40	18,87	11,31	35,90	62,14	63,50	<b>72,75</b>
60	28,31	45,30	14,15	8,48	26,93	46,61	47,62	<b>54,56</b>
50	23,60	37,75	11,80	7,07	22,44	38,84	39,69	<b>45,47</b>
35	16,52	26,43	8,26	4,95	15,71	27,19	27,78	<b>31,83</b>
20	9,44	15,10	4,72	2,83	8,98	15,54	15,87	<b>18,19</b>

Rozhodující je kombinace napjatosti číslo 3.

Mezní počet cyklů – podmínky pro užití vzorců:

- Je-li  $\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i \geq \Delta\sigma_D$  tak  $N_i = 5 * 10^6 \left( \frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i} \right)^3$
- Je-li  $\Delta\sigma_D > \gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i \geq \Delta\sigma_L$  tak  $N_i = 5 * 10^6 \left( \frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i} \right)^5$
- Je-li  $\Delta\sigma_L > \gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i$  tak  $N_i = \infty$

Mezní počet cyklů – výpočet:

Tab. 13: Mezní počet cyklů.

Vytížení (%)	$\Delta\sigma_i$ (Mpa)	$\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i$ (Mpa)	Procento cyklů	Počet cyklů $n_i (*10^6)$	$N_i (*10^6)$	$n_i/N_i$
100	90,940	122,769	5	0,2	1,519	0,132
80	72,752	98,215	10	0,4	2,966	0,135
60	54,564	73,661	15	0,6	8,823	0,068
50	45,470	61,385	40	1,6	21,955	0,073
35	31,829	42,969	20	0,8	$\infty$	0,000
20	18,188	24,554	10	0,4	$\infty$	0,000
<b>Celkem</b>				<b>4,0</b>		<b>0,407</b>
Kategorie detailu		112				
Mez únavy		82,522				
Prahový rozkmit		45,328				

Posouzení celkového poškození:

$$D_d = \sum_i \frac{n_i}{N_i} = 0,407 \leq 1 \dots \text{VYHOVUJE}$$

### 6.12.6 Posouzení koutového svaru pod horní pásnicí

Kategorie detailu:

kategorie detailu 100.

$$\Delta\sigma_C = 100 \text{ MPa}$$

Napětí ve svaru:

Výpočet napětí ve svaru je odlišný od postupu ověřování při MSÚ. Posuzuje se zvlášť normálové i smykové napětí.

$$\sigma_{wf} = \sigma_{\perp f} = \sigma_z * \frac{t_w}{2a} = 47,19 * \frac{12}{2*4} = 70,79 \text{ MPa}$$

$$\tau_{wf} = \tau_{\parallel f} = \tau_V * \frac{t_w}{2a} = 44,88 * \frac{12}{2*4} = 67,32 \text{ MPa}$$

#### 6.12.6.1 Posouzení na normálové napětí:

Mez únavy při konstantní amplitudě pro danou kategorii detailu:

$$\Delta\sigma_D = \sqrt[3]{\frac{2}{5}} * \Delta\sigma_C = \sqrt[3]{\frac{2}{5}} * 100 = 73,68 \text{ MPa}$$

Prahový rozkmit napětí:

$$\Delta\sigma_L = \sqrt[5]{\frac{5}{100}} * \Delta\sigma_D = \sqrt[5]{\frac{5}{100}} * 73,68 = 40,47 \text{ MPa}$$

Mezní počet cyklů – podmínky pro užití vzorců:

- Je-li  $\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i \geq \Delta\sigma_D$  tak  $N_i = 5 * 10^6 \left( \frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i} \right)^3$
- Je-li  $\Delta\sigma_D > \gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i \geq \Delta\sigma_L$  tak  $N_i = 5 * 10^6 \left( \frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i} \right)^5$
- Je-li  $\Delta\sigma_L > \gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i$  tak  $N_i = \infty$

Mezní počet cyklů – výpočet:

Tab. 14: Mezní počet cyklů a kumulace poškození.

Vytížení (%)	$\Delta\sigma_i$ (Mpa)	$\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i$ (Mpa)	Procento cyklů	Počet cyklů $n_i$ (*10 <sup>6</sup> )	$N_i$ (*10 <sup>6</sup> )	$n_i/N_i$
100	73,680	99,468	5	0,2	2,032	0,098
80	58,944	79,574	10	0,4	3,969	0,101
60	44,208	59,681	15	0,6	14,340	0,042
50	36,840	49,734	40	1,6	35,684	0,045
35	25,788	34,814	20	0,8	$\infty$	0,000
20	14,736	19,894	10	0,4	$\infty$	0,000
<b>Celkem</b>				<b>4,0</b>		<b>0,286</b>
Kategorie detailu		100				
Mez únavy		73,681				
Prahový rozkmit		40,471				

Posouzení celkového poškození:

$$D_d = \sum_i \frac{n_i}{N_i} = 0,286 \leq 1 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.12.6.2 Posouzení na smykové napětí:

Kategorie detailu:

kategorie detailu 100.

$$\Delta\tau_C = 100 \text{ MPa}$$

Prahový rozkmit napětí:

$$\Delta\tau_L = \sqrt[5]{\frac{2}{100}} * \Delta\tau_C = \sqrt[5]{\frac{2}{100}} * 100 = 45,73 \text{ MPa}$$

Mezní počet cyklů – podmínky pro užití vzorců:

- Je-li  $\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\tau_i \geq \Delta\tau_L$  tak  $N_i = 5 * 10^6 \left( \frac{\Delta\tau_L}{\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\tau_i} \right)^5$
- Je-li  $\Delta\tau_L > \gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\tau_i$  tak  $N_i = \infty$

Mezní počet cyklů – výpočet:

Tab. 15: Mezní počet cyklů a kumulace poškození.

Vytížení (%)	$\Delta\sigma$ (Mpa)	$\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma$ (Mpa)	Procento cyklů	Počet cyklů $n_i$ (*10 <sup>6</sup> )	$N_i$ (*10 <sup>6</sup> )	$n_i/N_i$
100	67,320	90,882	5	0,2	0,161	1,240
80	53,856	72,706	10	0,4	0,492	0,813
60	40,392	54,529	15	0,6	2,074	0,289
50	33,660	45,441	40	1,6	$\infty$	0,000
35	23,562	31,809	20	0,8	$\infty$	0,000
20	13,464	18,176	10	0,4	$\infty$	0,000
<b>Celkem</b>				<b>4,0</b>		<b>2,342</b>
Kategorie detailu		100				
Prahový rozkmit		45,731				

Posouzení celkového poškození:

$$D_d = \sum_i \frac{n_i}{N_i} = 2,342 \leq 1 \dots \textbf{NEVYHOVUJE}$$

Svar při posouzení na únavu nevyhovuje a únavové smykové napětí není schopen bezpečně přenášet po celou dobu životnosti konstrukce. Proto se mění návrh a místo svaru o účinném rozměru  $a = 4 \text{ mm}$  je navržen svar o  $a = 5 \text{ mm}$ . Posudek na normálová napětí není potřeba opakovat, zopakuje se jen posudek pro napětí smyková.

## 6.12.6.3 Opětovné posouzení na smykové napětí:

Napětí ve svaru:

$$\tau_{wf} = \tau_{lf} = \tau_V * \frac{t_w}{2a} = 44,88 * \frac{12}{2*5} = 53,856 \text{ MPa}$$

Kategorie detailu:

kategorie detailu 100.

$$\Delta\tau_C = 100 \text{ MPa}$$

Prahový rozkmit napětí:

$$\Delta\tau_L = \sqrt[5]{\frac{2}{100}} * \Delta\tau_C = \sqrt[5]{\frac{2}{100}} * 100 = 45,73 \text{ MPa}$$

Mezní počet cyklů – podmínky pro užití vzorců:

- Je-li  $\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\tau_i \geq \Delta\tau_L$  tak  $N_i = 5 * 10^6 \left( \frac{\Delta\tau_L}{\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\tau_i} \right)^5$
- Je-li  $\Delta\tau_L > \gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\tau_i$  tak  $N_i = \infty$

Mezní počet cyklů – výpočet:

Tab. 16: Mezní počet cyklů a kumulace poškození.

Vytížení (%)	$\Delta\sigma_i$ (Mpa)	$\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i$ (Mpa)	Procento cyklů	Počet cyklů $n_i$ (*10 <sup>6</sup> )	$N_i$ (*10 <sup>6</sup> )	$n_i/N_i$
100	53,856	72,706	5	0,2	0,492	0,406
80	43,085	58,164	10	0,4	1,502	0,266
60	32,314	43,623	15	0,6	$\infty$	0,000
50	26,928	36,353	40	1,6	$\infty$	0,000
35	18,850	25,447	20	0,8	$\infty$	0,000
20	10,771	14,541	10	0,4	$\infty$	0,000
<b>Celkem</b>				<b>4,0</b>		<b>0,673</b>
Kategorie detailu		100				
Prahový rozkmit		45,731				

Posouzení celkového poškození:

$$D_d = \sum_i \frac{n_i}{N_i} = 0,673 \leq 1 \dots \text{VYHOVUJE}$$

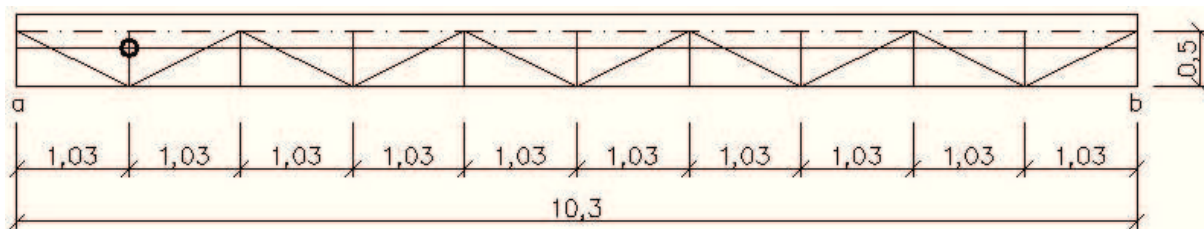
## 6.13 SÍLA NA KONCOVÉ NÁRAZNÍKY JEŘÁBOVÉ DRÁHY

Síla na nárazníky je převzata z dokumentace k mostovému jeřábu a uplatní se jako mimořádné zatížení při návrhu brzdných ztužidel. Síla je určena při 75 % pojzdové jmenovité rychlosti.

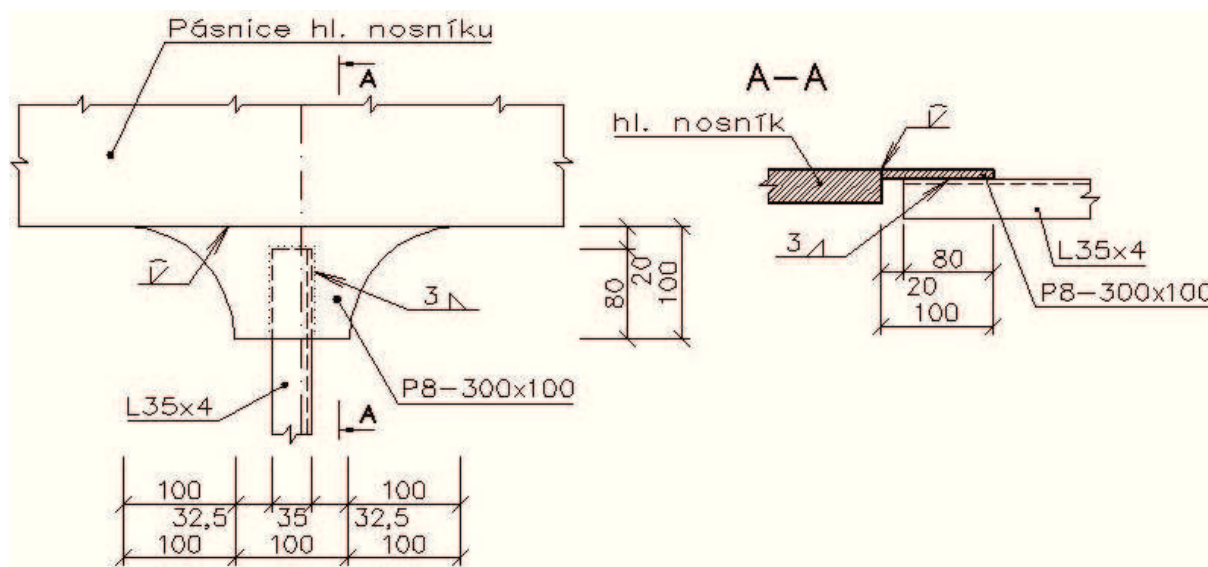
- Dynamický součinitel:  $\varphi_7 = 1,25$
- Síla dle podkladů výrobce:  $F = 43,5 \text{ kN}$
- Síla na nárazník (charakteristická hodnota):  $H_{B,k} = \varphi_7 * F = 1,25 * 43,5 = 54,37 \text{ kN}$
- Síla na nárazník (návrhová hodnota):  $H_{B,d} = \gamma_A * H_{B,k} = 1 * 54,37 = 54,37 \text{ kN}$

## 6.14 STYČNÍKY VODOROVNÉHO NOSNÍKU

### 6.14.1 Přípoj svislice k hlavnímu nosníku



Obr. 66: Vyznačení umístění spoje.



Obr. 67: Geometrie přípoje.

Svar u přiléhající příruby:

$$F_{w,b} = \frac{N_{Ed}}{2} * \frac{e}{b} = \frac{31,51 \cdot 10^3}{2} * \frac{10}{35} = 4,5 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel,b} = \frac{F_{w,b}}{a \cdot l} = \frac{4,5 \cdot 10^3}{0,003 \cdot 0,08} = 18,75 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel,b} = 18,75 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

Svar u odstávající příruby:

$$F_{w,a} = \frac{N_{Ed}}{2} * \frac{b-e}{b} = \frac{31,51 \cdot 10^3}{2} * \frac{35-10}{35} = 11,25 \text{ kN}$$

$$M_{w,a} = \frac{1}{2} * \frac{N_{Ed}}{2} * \frac{b}{2} = \frac{1}{2} * \frac{31,51 \cdot 10^3}{2} * \frac{0,035}{2} = 0,138 \text{ kNm}$$

$$\tau_{\parallel,a} = \frac{F_{w,a}}{a \cdot l} = \frac{11,25 \cdot 10^3}{0,003 \cdot 0,08} = 46,9 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp,a} = \sigma_{\perp,a} = \frac{M_{w,a}}{W_y \cdot \sqrt{2}} = \frac{0,138 \cdot 10^3}{\frac{1}{6} \cdot 0,003 \cdot 0,08^2 \cdot \sqrt{2}} = 30,5 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp,a}^2 + 3(\tau_{\perp,a}^2 + \tau_{\parallel,a}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

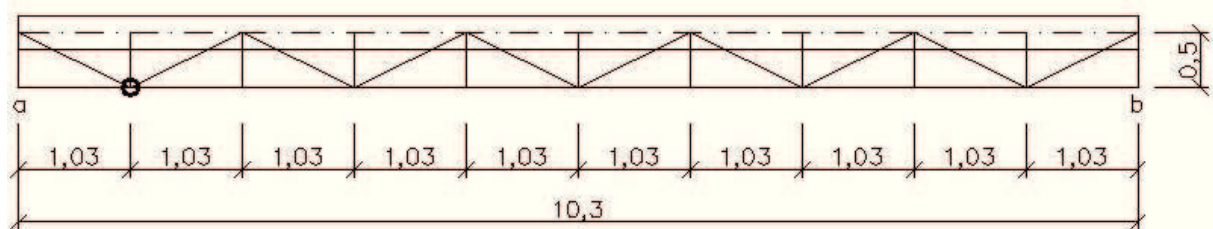
$$\sqrt{30,5^2 + 3(30,5^2 + 46,9^2)} = 102 \text{ MPa} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,a} = 30,5 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa}$$

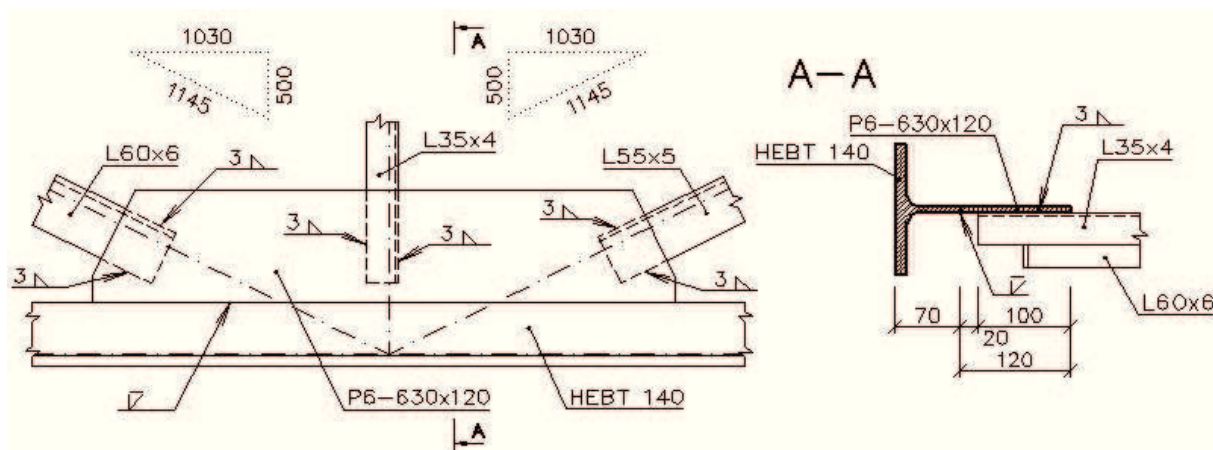
**VYHOVUJE**

### 6.14.2 Styčník pásového prutu

Všechny ostatní styčníky budou provedeny obdobně.



Obr. 68: Vyznačení umístění spoje.



Obr. 69: Geometrie přípoje.

#### 6.14.2.1 Svarové připojení úhelníku diagonály D<sub>1</sub> k plechu:

Navržen svar délky **l=70 mm**, účinný rozměr **a=3 mm**.

Svar u přiléhající příruby:

$$F_{w,b} = \frac{N_{Ed}}{2} \cdot \frac{e}{b} = \frac{64,9 \cdot 10^3}{2} \cdot \frac{17}{60} = 9,2 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel,b} = \frac{F_{w,b}}{a \cdot l} = \frac{9,2 \cdot 10^3}{0,003 \cdot 0,07} = 43,8 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel,b} = 43,8 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa} \dots \text{ **VYHOVUJE**}$$

Svar u odstávající příruby:

$$F_{w,a} = \frac{N_{Ed}}{2} \cdot \frac{b-e}{b} = \frac{64,9 \cdot 10^3}{2} \cdot \frac{60-17}{60} = 23,3 \text{ kN}$$

$$M_{w,a} = \frac{1}{2} \cdot \frac{N_{Ed}}{2} \cdot \frac{b}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{64,9 \cdot 10^3}{2} \cdot \frac{0,06}{2} = 0,469 \text{ kNm}$$

$$\tau_{\parallel,a} = \frac{F_{w,a}}{a \cdot l} = \frac{23,3 \cdot 10^3}{0,003 \cdot 0,07} = 111 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp,a} = \sigma_{\perp,a} = \frac{M_{w,a}}{W_y \cdot \sqrt{2}} = \frac{0,469 \cdot 10^3}{\frac{1}{6} \cdot 0,003 \cdot 0,07^2 \cdot \sqrt{2}} = 135 \text{ MPa}$$



$$\sqrt{\sigma_{\perp,a}^2 + 3(\tau_{\perp,a}^2 + \tau_{\parallel,a}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$
$$\sqrt{135^2 + 3(135^2 + 111^2)} = 331 \text{ MPa} \leq \frac{360}{0,8*1,25} = 360 \text{ MPa}$$
$$\sigma_{\perp,a} = 135 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

6.14.2.2 Svarové připojení úhelníku diagonály D<sub>2</sub> k plechu:Navržen svar délky **l=70 mm**, účinný rozměr **a=3 mm**.

Svar u přiléhající příruby:

$$F_{w,b} = \frac{N_{Ed}}{2} * \frac{e}{b} = \frac{57,66*10^3}{2} * \frac{15}{55} = 7,86 \text{ kN}$$
$$\tau_{\parallel,b} = \frac{F_{w,b}}{a*l} = \frac{7,86*10^3}{0,003*0,07} = 37,4 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel,b} = 37,4 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8*1,25} = 360 \text{ MPa} \dots \text{ VYHOVUJE}$$

Svar u odstávající příruby:

$$F_{w,a} = \frac{N_{Ed}}{2} * \frac{b-e}{b} = \frac{57,66*10^3}{2} * \frac{55-15}{55} = 20,9 \text{ kN}$$
$$M_{w,a} = \frac{1}{2} * \frac{N_{Ed}}{2} * \frac{b}{2} = \frac{1}{2} * \frac{57,66*10^3}{2} * \frac{0,055}{2} = 0,396 \text{ kNm}$$
$$\tau_{\parallel,a} = \frac{F_{w,a}}{a*l} = \frac{20,9*10^3}{0,003*0,07} = 99,5 \text{ MPa}$$
$$\tau_{\perp,a} = \sigma_{\perp,a} = \frac{M_{w,a}}{W_y * \sqrt{2}} = \frac{0,396*10^3}{\frac{1}{6} * 0,003*0,07^2 * \sqrt{2}} = 114,3 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp,a}^2 + 3(\tau_{\perp,a}^2 + \tau_{\parallel,a}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$
$$\sqrt{114,3^2 + 3(114,3^2 + 99,5^2)} = 286 \text{ MPa} \leq \frac{360}{0,8*1,25} = 360 \text{ MPa}$$
$$\sigma_{\perp,a} = 114,3 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

## 7 SKLADOVACÍ HALA

### 7.1 VÝPOČET ZATÍŽENÍ

#### 7.1.1 Zatížení stálá

##### 7.1.1.1 Střešní plášť:

Střešní plášť je navržen skládaný s tepelnou izolací ORSIL. Přenos zatížení je zabezpečen prostřednictvím trapézového plechu tl. 0,75 mm.

Skladba z interiéru do exteriéru:

- Trapézový plech TR 50/250, tl. 0,88 mm, hmotnost 8,9 kg/m<sup>2</sup>
- Tepelná izolace Isover S 10, tl. 100 mm, tíha 1,75 kN/m<sup>3</sup>
- Hydroizolace Elastek 50 Solo, hmotnost 0,22 kg/m<sup>2</sup>

Tab. 17: Zatížení od tíhy střešního pláště.

Položka	Charakteristická hodnota zatížení $g_k (kN/m^2)$	Součinitel zatížení $\gamma_f (-)$	Návrhová hodnota zatížení $g_d (kN/m^2)$
Hydroizolace	0,002	1,35	0,003
Tepelná izolace	0,175	1,35	0,236
Trapézový plech	0,089	1,35	0,120
<b>CELKEM</b>	0,266		0,359

## 7.1.1.2 Obvodová stěna:

Stěnový obvodový plášť je navržen jako skládaný ze stěnových kazet, tepelné izolace a trapézového plechu. Z vnitřní strany sloupů budou instalovány rovněž trapézové plechy.

Skladba z interiéru do exteriéru:

- Trapézový plech TR 20/136, tl. 0,75 mm, hmotnost  $6,82 \text{ kg/m}^2$
- Stěnová kazeta K 100/600, tl. 1,25 mm, hmotnost  $14,4 \text{ kg/m}^2$
- Tepelná izolace Isover EPS 200S, tl. 100 mm, hmotnost  $3 \text{ kg/m}^2$
- Trapézový plech TR 35/207, tl. 0,75 mm, hmotnost  $7 \text{ kg/m}^2$

Tab. 18: Zatížení od tíhy stěnového pláště.

Položka	Charakteristická hodnota zatížení $g_k (kN/m^2)$	Součinitel zatížení $\gamma_f (-)$	Návrhová hodnota zatížení $g_d (kN/m^2)$
Trapézový plech	0,070	1,35	0,003
Tepelná izolace	0,030	1,35	0,236
Stěnová kazeta	0,144	1,35	0,194
Trapézový plech	0,068	1,35	0,101
<b>CELKEM</b>	0,312		0,421

## 7.1.2 Zatížení užité

## 7.1.2.1 Užité zatížení na střeše:

Střecha nepřístupná s výjimkou běžných oprav:  $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$

Tab. 19: Užité zatížení na střeše.

Položka	Charakteristická hodnota zatížení $q_k (kN/m^2)$	Součinitel zatížení $\gamma_f (-)$	Návrhová hodnota zatížení $q_d (kN/m^2)$
Technická údržba	0,75	1,5	1,125
<b>CELKEM</b>	0,75		1,125

## 7.1.3 Zatížení sněhem

Sněhová oblast II:  $s_k = 1 \text{ kN/m}^2$

Součinitel expozice:  $C_e = 1,0$

Tepelný součinitel:  $C_t = 1,0$

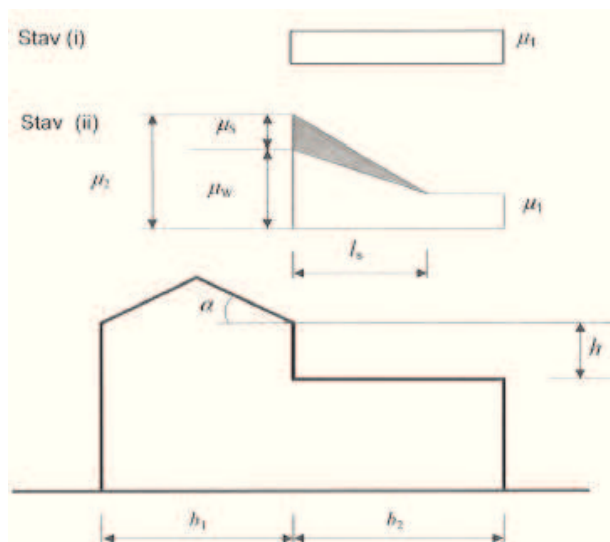
Sklon střechy:  $\alpha = 7^\circ$

Tvarový součinitel:  $\mu_1 = 0,8$   
 $\mu_2 = \mu_s + \mu_w = 0 + 2 = 2$   
 $\mu_s = 0$  ( $\alpha < 15^\circ$ , zohlednění sesuv sněhu z horní střechy)  
 $\mu_w = 2$  (sněhová oblast I až IV, zohlednění působení větru)

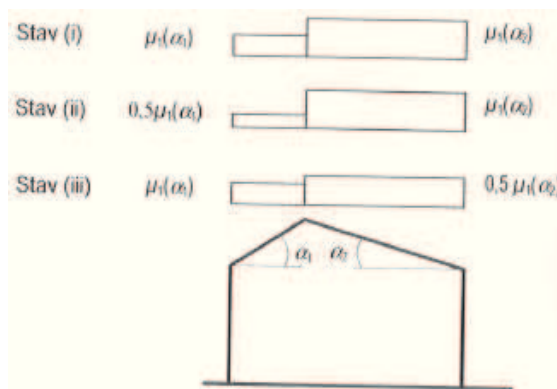
Charakteristická hodnota zatížení:

Nenavátý sních:  $s_{k,1} = \mu_1 C_e C_t s_k = 0,8 * 1 * 1 * 1 = 0,8 \text{ kN/m}^2$   
 $s_{k,2} = 0,5 \mu_1 C_e C_t s_k = 0,5 * 0,8 * 1 * 1 * 1 = 0,4 \text{ kN/m}^2$   
Navátý sních:  $s_{k,3} = \mu_2 C_e C_t s_k = 2 * 1 * 1 * 1 = 2 \text{ kN/m}^2$

Délka návěje:  $l_s = 2h = 2 * 3 = 6 \text{ m}$



Obr. 70: Uspořádání zatížení při navátí.



Obr. 71: Kombinace zatížení bez navátí.

Tab. 20: Rekapitulace zatížení sněhem.

Položka	Charakteristická hodnota zatížení $g_k (kN/m^2)$	Součinitel zatížení $\gamma_f (-)$	Návrhová hodnota zatížení $g_d (kN/m^2)$
$s_1$	0,8	1,5	1,2
$s_2$	0,4	1,5	0,6
$s_3$	2,0	1,5	3

#### 7.1.4 Zatížení větrem

Část 1 = vyšší loď ( $h = 14,9 \text{ m}$ )

Část 2 = nižší loď ( $h = 11,9 \text{ m}$ )

##### 7.1.4.1 Rychlost a tlak větru:

Rychlost větru:  $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

Součinitel směru větru:  $c_{dir} = 1,0$

Součinitel ročního období:  $c_{season} = 1,0$

#### ČÁST 1:

Základní rychlost větru:  $v_b = c_{dir}c_{season}v_{b,0} = 1 * 1 * 25 = 25 \text{ m/s}$

Referenční výšky:  $h = 14,9 \text{ m} \Rightarrow z_e = z_i = 14,9 \text{ m}$

Určení součinitele drsnosti:

Kategorie terénu:  $z_0 = 1, z_{min} = 10$

Součinitel terénu:  $k_r = 0,19 \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \left( \frac{1}{0,05} \right)^{0,07} = 0,234$

Porovnání výšek:  $z = \max \left\{ \begin{matrix} h = 14,9 \\ z_{min} = 10 \end{matrix} \right\} = 14,9 \text{ m}$

Součinitel drsnosti:  $c_r(z) = k_r \ln \frac{z}{z_0} = 0,234 * \ln \frac{14,9}{1} = 0,632$

Součinitel ortografie:  $c_0(z) = 1,0$

Charakteristická střední rychlost větru:

$$v_m(z) = c_r(z)c_0(z)v_b(z) = 0,632 * 1 * 25 = 15,8 \text{ m/s}$$

Intenzita turbulence:  $I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1}{1 * \ln \frac{14,9}{1}} = 0,37 \text{ pro } z \geq z_{min}$

Maximální charakteristický tlak:

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)]0,5\rho * v_m^2 = [1 + 7 * 0,37] * 0,5 * 1,25 * 15,8^2 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

#### ČÁST 2:

Základní rychlost větru:  $v_b = c_{dir}c_{season}v_{b,0} = 1 * 1 * 25 = 25 \text{ m/s}$

Referenční výšky:  $h = 11,9 \text{ m} \Rightarrow z_e = z_i = 11,9 \text{ m}$

Určení součinitele drsnosti:

Kategorie terénu:  $z_0 = 1, z_{min} = 10$

Součinitel terénu:  $k_r = 0,19 \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \left( \frac{1}{0,05} \right)^{0,07} = 0,234$

Porovnání výšek:  $z = \max \left\{ \begin{matrix} h = 11,9 \\ z_{min} = 10 \end{matrix} \right\} = 11,9 \text{ m}$

Součinitel drsnosti:  $c_r(z) = k_r \ln \frac{z}{z_0} = 0,234 * \ln \frac{11,9}{1} = 0,579$

Součinitel ortografie:  $c_0(z) = 1,0$

Charakteristická střední rychlost větru:

$$v_m(z) = c_r(z)c_0(z)v_b(z) = 0,579 * 1 * 25 = 14,5 \text{ m/s}$$

Intenzita turbulence:  $I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1}{1 * \ln \frac{11,9}{1}} = 0,4 \text{ pro } z \geq z_{min}$

Maximální charakteristický tlak:

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] 0,5 \rho * v_m^2 = [1 + 7 * 0,4] * 0,5 * 1,25 * 14,5^2 = 0,50 \text{ kN/m}^2$$

#### 7.1.4.2 Kvazistatická odezva:

Tlak větru působící na vnější povrchy:  $w_e = q_p(z) * c_{pe}$

Tlak větru působící na vnitřní povrchy:  $w_i = q_p(z) * c_{pi}$

Výsledný tlak větru:  $w = w_e + w_i$

Součinitel vnitřního tlaku:  $c_{pi,1} = +0,2$

$$c_{pi,2} = -0,3$$

Plocha vystavená působení větru

$$> 10 \text{ m}^2 \Rightarrow c_{pe,10}$$

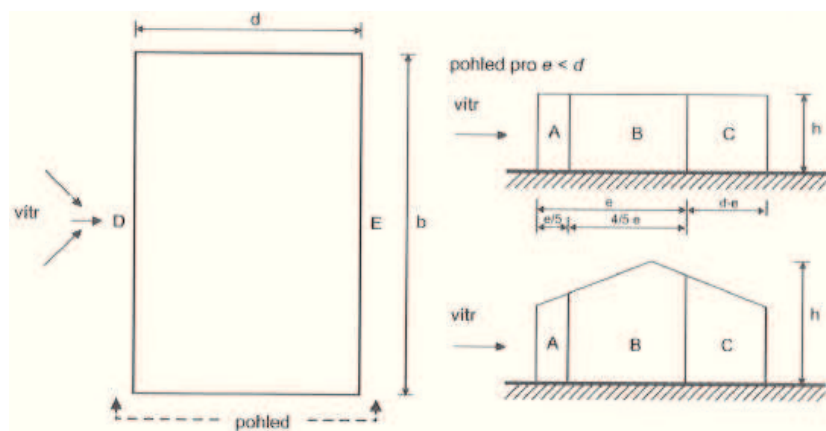
#### 7.1.4.3 Stěny – příčný vítr 1:

$$h = 14,9 \text{ m}$$

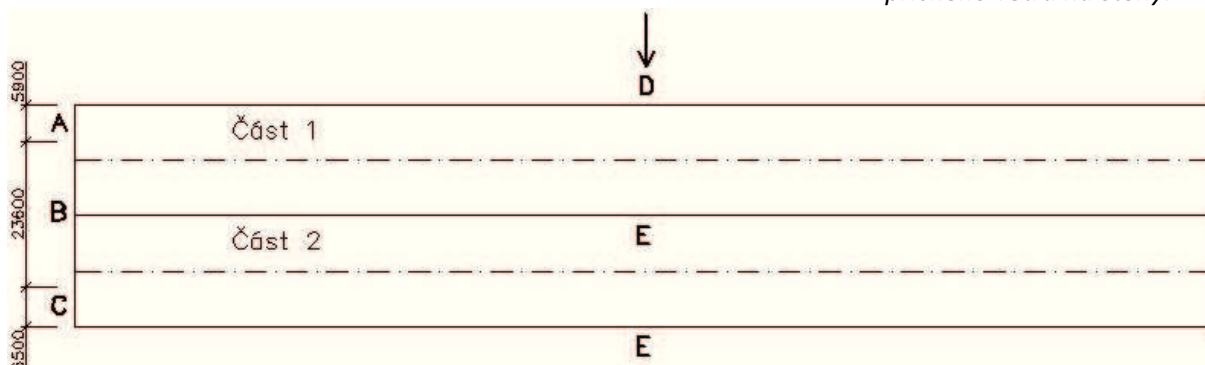
$$b = 185,4 \text{ m}$$

$$d = 36 \text{ m}$$

$$e = \min \left\{ \begin{matrix} b = 185,4 \\ 2h = 29,8 \end{matrix} \right\} = 29,8 \text{ m}$$



Obr. 72: Znázornění působení příčného větru na stěny.



Obr. 73: Rozložení oblastí po stěnách haly.

A) Výsledný tlak větru pro  $c_{pi} = +0,2$ :

$$w_A = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-1,20 - 0,2) = -0,784 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_B = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,93 - 0,2) = -0,633 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_C = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,50 - 0,2) = -0,392 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_D = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (+0,72 - 0,2) = +0,291 \text{ kN/m}^2 \quad (\downarrow)$$

$$w_E = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,34 - 0,2) = -0,302 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

B) Výsledný tlak větru pro  $c_{pi} = -0,3$ :

$$w_A = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-1,20 + 0,3) = -0,504 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

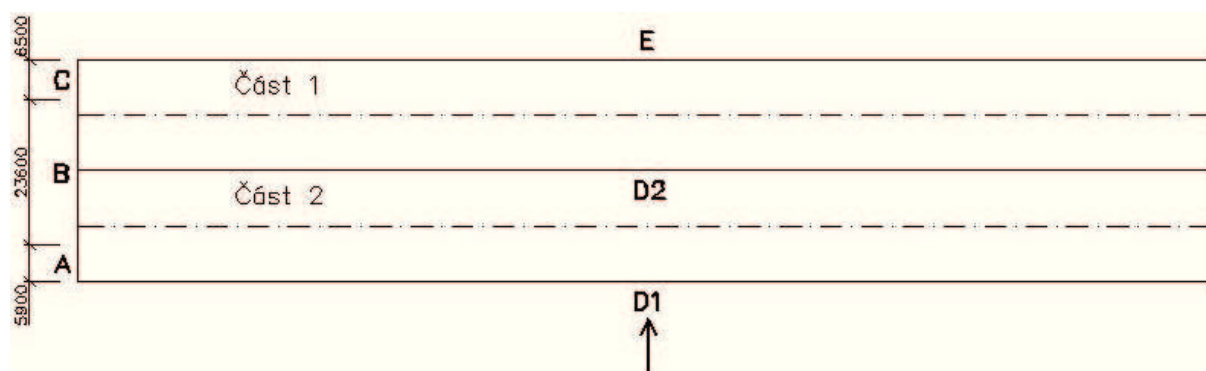
$$w_B = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,93 + 0,3) = -0,353 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_C = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,50 + 0,3) = -0,112 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_D = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (+0,72 + 0,3) = +0,571 \text{ kN/m}^2 \quad (\downarrow)$$

$$w_E = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,34 + 0,3) = -0,022 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

## 7.1.4.4 Stěny – příčný vítr 2:



Obr. 74: Rozložení oblastí po stěnách haly.

A) Výsledný tlak větru pro  $c_{pi} = +0,2$ :

$$w_A = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-1,20 - 0,2) = -0,784 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_B = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,93 - 0,2) = -0,633 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_C = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,50 - 0,2) = -0,392 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{D1} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (+0,72 - 0,2) = +0,260 \text{ kN/m}^2 \quad (\downarrow)$$

$$w_{D2} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (+0,72 - 0,2) = +0,291 \text{ kN/m}^2 \quad (\downarrow)$$

$$w_E = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,34 - 0,2) = -0,302 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

B) Výsledný tlak větru pro  $c_{pi} = -0,3$ :

$$w_A = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-1,20 + 0,3) = -0,504 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_B = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,93 + 0,3) = -0,353 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_C = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,50 + 0,3) = -0,112 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{D1} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (+0,72 + 0,3) = +0,510 \text{ kN/m}^2 \quad (\downarrow)$$

$$w_{D2} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (+0,72 + 0,3) = +0,571 \text{ kN/m}^2 \quad (\downarrow)$$

$$w_E = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,34 + 0,3) = -0,022 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

#### 7.1.4.5 Stěny – podélný vítr:

**Část 1:**  $h = 14,9 \text{ m}$

$b = 18 \text{ m}$

$d = 185,4 \text{ m}$

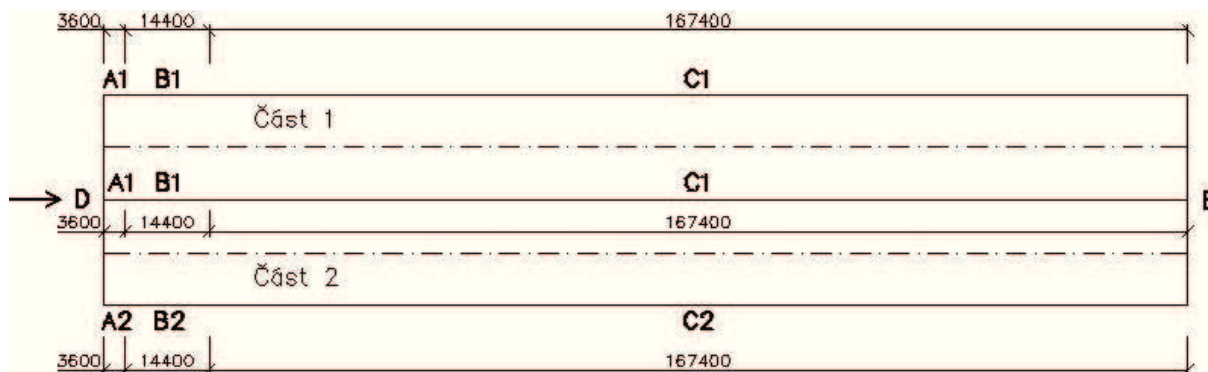
$e = \min \left\{ \frac{b}{2h} = 18 \right\} = 18 \text{ m}$

**Část 2:**  $h = 11,9 \text{ m}$

$b = 18 \text{ m}$

$d = 185,4 \text{ m}$

$e = \min \left\{ \frac{b}{2h} = 23,8 \right\} = 18 \text{ m}$



Obr. 75: Rozložení oblastí na stěnách při podélném větru.

#### A) Výsledný tlak větru pro $c_{pi} = +0,2$ :

$$w_{A1} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-1,20 - 0,2) = -0,784 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{A2} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-1,20 - 0,2) = -0,700 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{B1} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,80 - 0,2) = -0,560 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{B2} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-0,80 - 0,2) = -0,500 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{C1} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,50 - 0,2) = -0,392 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{C2} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-0,50 - 0,2) = -0,350 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_D = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (+0,70 - 0,2) = +0,280 \text{ kN/m}^2 \quad (\downarrow)$$

$$w_E = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,30 - 0,2) = -0,280 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

#### B) Výsledný tlak větru pro $c_{pi} = -0,3$ :

$$w_{A1} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-1,20 + 0,3) = -0,504 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{A2} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-1,20 + 0,3) = -0,450 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{B1} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,80 + 0,3) = -0,280 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{B2} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-0,80 + 0,3) = -0,250 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{C1} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,50 + 0,3) = -0,112 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{C2} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-0,50 + 0,3) = -0,100 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_D = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (+0,70 + 0,3) = +0,560 \text{ kN/m}^2 \quad (\downarrow)$$

$$w_E = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,30 + 0,3) = -0,000 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

#### 7.1.4.6 Střecha – příčný vítr 1:

Výpočet je proveden podle normy ČSN EN 1991-1-4 podle části pro vícelodní haly. Ve výpočtu se uvažuje kombinace pultové a sedlové střechy.

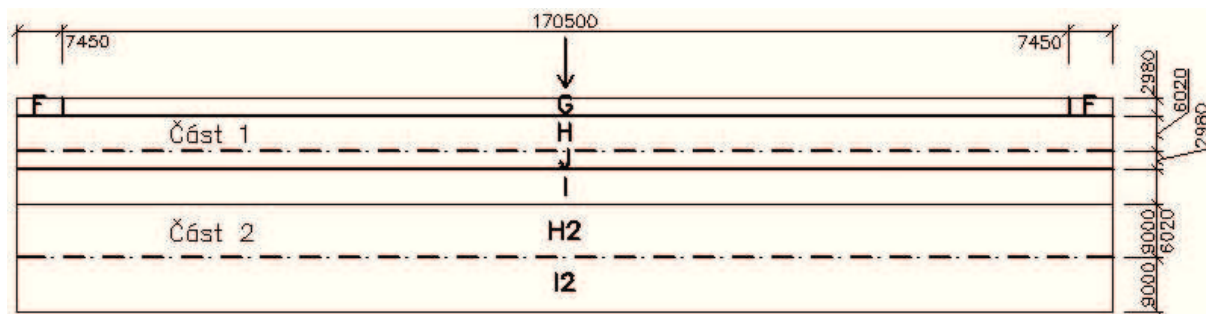
$h = 14,9 \text{ m}$



$$b = 185,4 \text{ m}$$

$$d = 36 \text{ m}$$

$$e = \min \left\{ \begin{array}{l} b = 185,4 \\ 2h = 29,8 \end{array} \right\} = 29,8 \text{ m}$$



Obr. 76: Rozložení oblastí na střeše pro příčný vítr 1.

A) Výsledný tlak větru pro  $c_{pi} = +0,2$ :

$$w_F^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-1,54 - 0,2) = -0,974 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_F^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (+0,04 - 0,2) = -0,090 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_G^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-1,12 - 0,2) = -0,739 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_G^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (+0,04 - 0,2) = -0,090 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_H^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,54 - 0,2) = -0,414 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_H^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (+0,04 - 0,2) = -0,090 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_J^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,68 - 0,2) = -0,493 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_J^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (+0,16 - 0,2) = -0,022 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{H2}^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (0,8 * (-0,54) - 0,2) = -0,354 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{H2}^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (0,8 * (+0,04) - 0,2) = -0,094 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{I2} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (0,6 * (-0,56) - 0,2) = -0,300 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

B) Výsledný tlak větru pro  $c_{pi} = -0,3$ :

$$w_F^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-1,54 + 0,3) = -0,694 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_F^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (+0,04 + 0,3) = +0,190 \text{ kN/m}^2 \quad (\downarrow)$$

$$w_G^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-1,12 + 0,3) = -0,459 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_G^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (+0,04 + 0,3) = +0,190 \text{ kN/m}^2 \quad (\downarrow)$$

$$w_H^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,54 + 0,3) = -0,134 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_H^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (+0,04 + 0,3) = +0,190 \text{ kN/m}^2 \quad (\downarrow)$$

$$w_J^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,68 + 0,3) = -0,213 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_J^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (+0,16 + 0,3) = +0,258 \text{ kN/m}^2 \quad (\downarrow)$$

$$w_{H2}^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (0,8 * (-0,54) + 0,3) = -0,074 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{H2}^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (0,8 * (+0,04) + 0,3) = +0,186 \text{ kN/m}^2 \quad (\downarrow)$$

$$w_{I2} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (0,6 * (-0,56) + 0,3) = -0,020 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

#### 7.1.4.7 Střecha – příčný vítr 2:

**Část 1:**  $h = 14,9 \text{ m}$

$b = 185,4 \text{ m}$

$d = 18 \text{ m}$

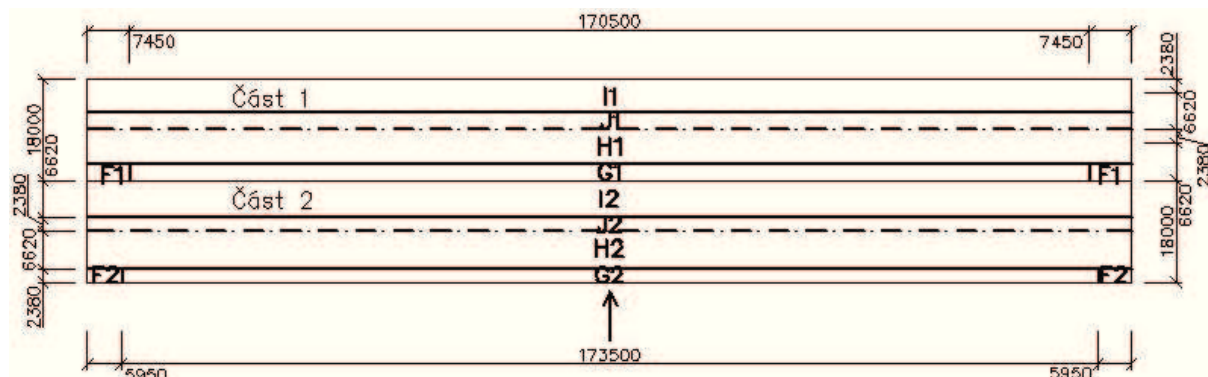
$e = \min \left\{ \begin{matrix} b = 185,4 \\ 2h = 29,8 \end{matrix} \right\} = 29,8 \text{ m}$

**Část 2:**  $h = 11,9 \text{ m}$

$b = 185,4 \text{ m}$

$d = 18 \text{ m}$

$e = \min \left\{ \begin{matrix} b = 185,4 \\ 2h = 23,8 \end{matrix} \right\} = 23,8 \text{ m}$



Obr. 77: Rozložení oblastí na střeše pro příčný vítr 2.

#### A) Výsledný tlak větru pro $c_{pi} = +0,2$ :

$$w_{F1}^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-1,54 - 0,2) = -0,974 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{F1}^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (+0,04 - 0,2) = -0,090 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{G1}^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-1,12 - 0,2) = -0,739 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{G1}^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (+0,04 - 0,2) = -0,090 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{H1}^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,54 - 0,2) = -0,414 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{H1}^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (+0,04 - 0,2) = -0,090 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{J1}^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,68 - 0,2) = -0,493 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{J1}^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (+0,16 - 0,2) = -0,022 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{I1} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,56 - 0,2) = -0,426 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{F2}^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-1,54 - 0,2) = -0,870 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{F2}^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (+0,04 - 0,2) = -0,080 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{G2}^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-1,12 - 0,2) = -0,660 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{G2}^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (+0,04 - 0,2) = -0,080 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{H2}^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-0,54 - 0,2) = -0,370 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{H2}^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (+0,04 - 0,2) = -0,080 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{J2}^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-0,68 - 0,2) = -0,440 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{J2}^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (+0,16 - 0,2) = -0,020 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{I2} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-0,56 - 0,2) = -0,380 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

#### B) Výsledný tlak větru pro $c_{pi} = -0,3$ :

$$w_{F1}^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-1,54 + 0,3) = -0,694 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{F1}^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (+0,04 + 0,3) = +0,190 \text{ kN/m}^2 \quad (\downarrow)$$

$$w_{G1}^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-1,12 + 0,3) = -0,459 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{G1}^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (+0,04 + 0,3) = +0,190 \text{ kN/m}^2 \quad (\downarrow)$$

$$w_{H1}^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,54 + 0,3) = -0,134 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{H1}^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (+0,04 + 0,3) = +0,190 \text{ kN/m}^2 \quad (\downarrow)$$

$$w_{J1}^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,68 + 0,3) = -0,213 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{J1}^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (+0,16 + 0,3) = +0,258 \text{ kN/m}^2 \quad (\downarrow)$$

$$w_{I1} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,56 + 0,3) = -0,146 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{F2}^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-1,54 + 0,3) = -0,620 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{F2}^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (+0,04 + 0,3) = +0,170 \text{ kN/m}^2 \quad (\downarrow)$$

$$w_{G2}^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-1,12 + 0,3) = -0,410 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{G2}^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (+0,04 + 0,3) = +0,170 \text{ kN/m}^2 \quad (\downarrow)$$

$$w_{H2}^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-0,54 + 0,3) = -0,120 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{H2}^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (+0,04 + 0,3) = +0,170 \text{ kN/m}^2 \quad (\downarrow)$$

$$w_{J2}^- = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-0,68 + 0,3) = -0,190 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{J2}^+ = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (+0,16 + 0,3) = +0,230 \text{ kN/m}^2 \quad (\downarrow)$$

$$w_{I2} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-0,56 + 0,3) = -0,130 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

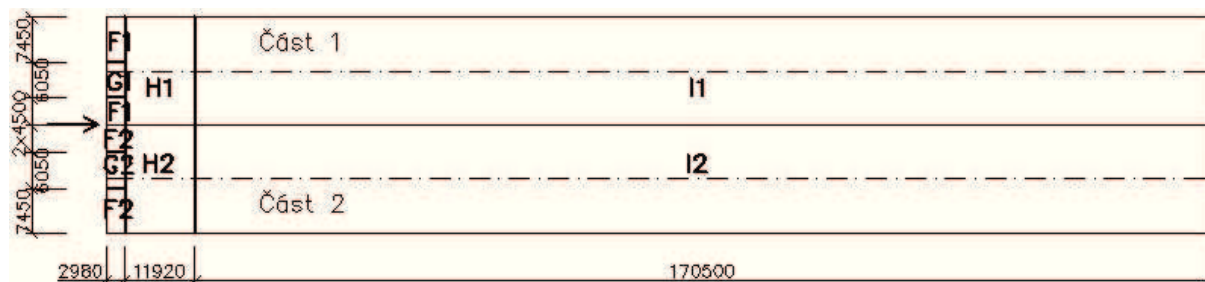
#### 7.1.4.8 Střecha – podélný vítr:

$$h = 14,9 \text{ m}$$

$$b = 36 \text{ m}$$

$$d = 185,4 \text{ m}$$

$$e = \min \left\{ \begin{array}{l} b = 36 \\ 2h = 29,8 \end{array} \right\} = 29,8 \text{ m}$$



Obr. 78: Rozložení oblastí na střeše pro podélný vítr.

#### A) Výsledný tlak větru pro $c_{pi} = +0,2$ :

$$w_{F1} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-1,54 - 0,2) = -0,974 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{G1} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-1,30 - 0,2) = -0,840 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{H1} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,68 - 0,2) = -0,493 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{I1} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,58 - 0,2) = -0,437 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{F2} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-1,54 - 0,2) = -0,870 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{G2} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-1,30 - 0,2) = -0,750 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{H2} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-0,68 - 0,2) = -0,440 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{I2} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-0,58 - 0,2) = -0,390 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

B) Výsledný tlak větru pro  $c_{pi} = -0,3$ :

$$w_{F1} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-1,54 + 0,3) = -0,694 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{G1} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-1,30 + 0,3) = -0,560 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{H1} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,68 + 0,3) = -0,213 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{I1} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,56 * (-0,58 + 0,3) = -0,157 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{F2} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-1,54 + 0,3) = -0,620 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{G2} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-1,30 + 0,3) = -0,500 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{H2} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-0,68 + 0,3) = -0,190 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_{I2} = q_p(c_{pe} - c_{pi}) = 0,50 * (-0,58 + 0,3) = -0,140 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

## 7.2 POSOUZENÍ STŘEŠNÍ KONSTRUKCE

### 7.2.1 Trapézový plech

#### 7.2.1.1 Návrh plechu:

Pro zastřešení haly je navržena sendvičová plášťová konstrukce. Nosnou funkci plní vnitřní trapézový plech, který je podporován Z-vaznicemi a je kladen v pozitivní poloze. Plech působí jako spojitý nosník o čtyřech polích. Z-vaznice mají osovou vzdálenost 2,25 m.

*Návrh:* Trapézový plech TR 50/250, tl. 0,88 mm – pozitivní poloha.

Plech je z nabídky firmy Kovové profily na webových stránkách [www.kovoveprofily.cz](http://www.kovoveprofily.cz).

#### 7.2.1.2 Zatížení na plech:

- Stálé + sníh:  $q_{TR,k,1} = g_k + s_{k,3} = 0,266 + 2 = 2,266 \text{ kN/m}^2$   
 $q_{TR,d,1} = g_d + s_{d,3} = 0,359 + 3 = 3,359 \text{ kN/m}^2$
- Stálé + užité:  $q_{TR,k,2} = g_k + q_k = 0,266 + 0,75 = 1,016 \text{ kN/m}^2$   
 $q_{TR,d,2} = g_d + q_d = 0,359 + 1,125 = 1,484 \text{ kN/m}^2$
- Stálé + sníh + max. tlak větru:  $q_{TR,k,3} = g_k + s_{k,3} + w_{j,k} = 0,266 + 2 + 0,258 = 2,524 \text{ kN/m}^2$   
 $q_{TR,d,3} = g_d + s_{d,3} + w_{j,d} = 0,359 + 3 + 0,387 = 3,746 \text{ kN/m}^2$


#### 7.2.1.3 Posouzení:

$$\text{MSÚ: } q_{Sd} = q_{TR,d,3} = 3,75 \text{ kN/m}^2 \leq q_{Rd} = 4,25 \text{ kN/m}^2 \quad \dots \text{ **VYHOVUJE**}$$

$$\text{MSP: } q_{Sk} = q_{TR,k,3} = 2,52 \text{ kN/m}^2 \leq q_{Rk} = 3,53 \text{ kN/m}^2 \quad \dots \text{ **VYHOVUJE**}$$



Tab. 21: Hodnoty přípustného zatížení pro MSÚ a MSP na plech TR 50/250.

TI.		Hmot.	únosnost q [kN/m <sup>2</sup> ] pro rozpětí pole L [m]															
[mm]		[kg/m <sup>2</sup> ]	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	
			 pro spojitý nosník o třech polích lze únosnost zvýšit o 7%															
0,63	8,35	q <sup>d</sup> 1	4,39	3,47	2,81	2,33	1,96	1,69	1,46	1,27	1,12	1,00	0,89	0,80	0,72	0,66	0,60	
		q <sup>d</sup> 2	3,98	3,17	2,59	2,15	1,82	1,57	1,37	1,20	1,06	0,94	0,84	0,76	0,69	0,63	0,57	
		q <sup>k</sup> (L/200)	7,43	4,68	3,13	2,20	1,60	1,21	0,93	0,73	0,58	0,48	0,39	0,33	0,28	0,23	0,20	
		q <sup>k</sup> (L/400)	3,72	2,34	1,57	1,10	0,80	0,61	0,47	0,37	0,29	0,24	0,20	0,17	0,14	0,12	0,10	
0,75	7,55	q <sup>d</sup> 1	6,05	4,77	3,87	3,20	2,70	2,32	2,00	1,75	1,54	1,37	1,22	1,10	0,99	0,90	0,82	
		q <sup>d</sup> 2	5,52	4,38	3,57	2,97	2,51	2,17	1,88	1,65	1,46	1,30	1,16	1,05	0,95	0,86	0,79	
		q <sup>k</sup> (L/200)	9,62	6,06	4,06	2,85	2,08	1,56	1,20	0,95	0,76	0,62	0,51	0,42	0,36	0,30	0,26	
		q <sup>k</sup> (L/400)	4,81	3,03	2,03	1,43	1,04	0,78	0,60	0,48	0,38	0,31	0,26	0,21	0,18	0,15	0,13	
0,88	8,86	q <sup>d</sup> 1	8,02	6,33	5,13	4,25	3,58	3,08	2,66	2,32	2,04	1,81	1,62	1,46	1,32	1,19	1,09	
		q <sup>d</sup> 2	7,34	5,83	4,76	3,96	3,35	2,89	2,51	2,19	1,94	1,72	1,54	1,39	1,26	1,14	1,05	
		q <sup>k</sup> (L/200)	11,90	7,50	5,02	3,53	2,57	1,93	1,49	1,17	0,94	0,76	0,63	0,52	0,44	0,37	0,32	
		q <sup>k</sup> (L/400)	5,95	3,75	2,51	1,77	1,29	0,97	0,75	0,59	0,47	0,38	0,32	0,26	0,22	0,19	0,16	
1,00	10,07	q <sup>d</sup> 1	9,87	7,77	6,28	5,20	4,37	3,80	3,28	2,86	2,51	2,23	1,99	1,79	1,61	1,46	1,33	
		q <sup>d</sup> 2	9,07	7,19	5,85	4,86	4,10	3,58	3,10	2,71	2,39	2,12	1,90	1,71	1,55	1,41	1,29	
		q <sup>k</sup> (L/200)	14,10	8,88	5,95	4,18	3,05	2,29	1,76	1,39	1,11	0,90	0,74	0,62	0,52	0,44	0,38	
		q <sup>k</sup> (L/400)	7,05	4,44	2,98	2,09	1,53	1,15	0,88	0,70	0,56	0,45	0,37	0,31	0,26	0,22	0,19	
1,13	11,38	q <sup>d</sup> 1	11,99	9,42	7,61	6,28	5,28	4,58	3,95	3,44	3,02	2,68	2,39	2,14	1,94	1,75	1,58	
		q <sup>d</sup> 2	11,07	8,76	7,11	5,90	4,97	4,33	3,74	3,27	2,88	2,56	2,29	2,06	1,86	1,69	1,54	
		q <sup>k</sup> (L/200)	16,60	10,45	7,00	4,92	3,59	2,69	2,08	1,63	1,31	1,06	0,88	0,73	0,61	0,52	0,45	
		q <sup>k</sup> (L/400)	8,30	5,23	3,50	2,46	1,80	1,35	1,04	0,82	0,66	0,53	0,44	0,37	0,31	0,26	0,23	
1,25	12,59	q <sup>d</sup> 1	14,07	11,04	8,90	7,34	6,16	5,34	4,60	4,00	3,52	3,11	2,77	2,49	2,24	2,01	1,81	
		q <sup>d</sup> 2	13,03	10,29	8,34	6,91	5,82	5,06	4,37	3,82	3,36	2,98	2,66	2,39	2,16	1,97	1,79	
		q <sup>k</sup> (L/200)	19,25	12,13	8,13	5,71	4,16	3,13	2,41	1,89	1,52	1,23	1,02	0,85	0,71	0,61	0,52	
		q <sup>k</sup> (L/400)	9,63	6,07	4,07	2,86	2,08	1,57	1,21	0,95	0,76	0,62	0,51	0,43	0,36	0,31	0,26	
q <sup>d</sup> 1			výpočtová hodnota únosnosti : pro prostý nosník s přesahem plechu 1,5xvýška plechu za podporu, šířka podpory 40 mm															
q <sup>d</sup> 2			výpočtová hodnota únosnosti : pro spojitý nosník s vnitřní podporou šířky 100 mm a krajní podporou šířky 60 mm															
			pro prostý nosník bez přesahu plechu za podporu, šířka podpory 40 mm															
			pro spojitý nosník s vnitřní podporou šířky 60 mm a krajní podporou šířky 40 mm															
q <sup>k</sup> (L/200)			charakteristická (normová) hodnota únosnosti pro deformaci L/200															
q <sup>k</sup> (L/400)			charakteristická (normová) hodnota únosnosti pro deformaci L/400															

## 7.2.2 Vnitřní střešní Z-vaznice (mezilehlá) – část 1

Vaznice bude přenášet pouze zatížení působící kolmo k rovině střechy.

### 7.2.2.1 Návrh:

Z-vaznice přenáší zatížení z trapézového plechu střešního pláště do jednotlivých rámců příčné vazby haly. Navrženy jsou vaznice Z-300/2,5-S pro vnitřní pole a vaznice Z-300/3-S pro krajní pole, hmotnost 11,33 kg/m. Vaznice působí jako spojitý nosník na celou délku haly. Rozpětí jednotlivých polí je 10,3 m.

### 7.2.2.2 Materiálové charakteristiky:

Ocel:	S 350 GD
Mez kluzu:	$f_{yb,k} = 350 \text{ MPa}$
Mez pevnosti:	$f_{ub,k} = 420 \text{ MPa}$
Modul pružnosti v tahu a tlaku:	$E_k = 210 \text{ GPa}$
Modul pružnosti ve smyku:	$G_k = 81 \text{ GPa}$

## 7.2.2.3 Zatížení:

Stálé:

- Střešní plášť:  $g_{k,sp} = 0,266 * 2,25 = 0,598 \text{ kN/m}$
- Vlastní tíha:  $g_{k,vt} = 0,113 \text{ kN/m}$
- **Celkem:**  $g_k = 0,711 \text{ kN/m}$   
 $g_d = 1,35 * 0,711 = 0,959 \text{ kN/m}$

Sníh:  $s_k = 0,8 * 2,25 = 1,8 \text{ kN/m}$   
 $s_d = 1,8 * 1,5 = 2,7 \text{ kN/m}$

Pro kombinaci stálého zatížení se sněhem je zřejmé, že Z-vaznice při osově vzdálenosti 2,25 metrů a rozpětí 10,3 metrů **nevyhoví** na MSÚ ani MSP a proto je potřeba zmenšit osovou vzdálenost vaznic. Při změně osově vzdálenosti Z-vaznic dojde k příznivému účinku na střešní trapézový plech, není jej tedy nutné znovu posoudit. Nová osová vzdálenost je jeden metr.

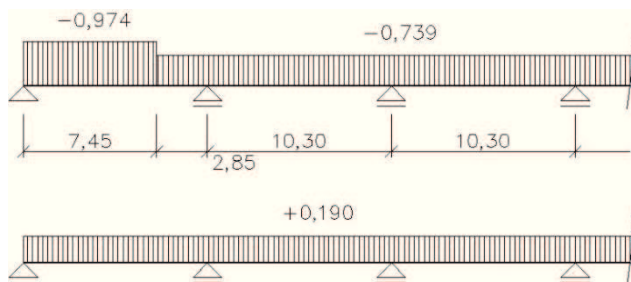
## 7.2.2.4 Zatížení při nové osově vzdálenosti (1 metr):

Stálé:

- Střešní plášť:  $g_{k,sp} = 0,266 * 1 = 0,266 \text{ kN/m}$
- Vlastní tíha:  $g_{k,vt} = 0,113 \text{ kN/m}$
- **Celkem:**  $g_k = 0,379 \text{ kN/m}$   
 $g_d = 1,35 * 0,379 = 0,512 \text{ kN/m}$

Sníh:  $s_k = 0,8 * 1 = 0,8 \text{ kN/m}$   
 $s_d = 0,8 * 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}$

Příčný vítr 1:

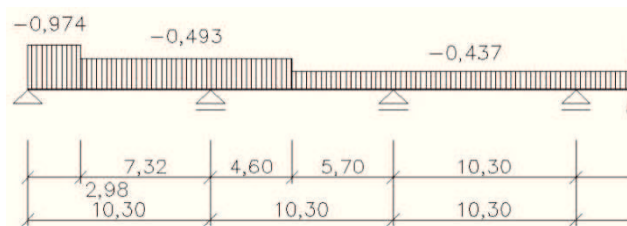


Obr. 79: Kombinace zatížení pro příčný vítr 1.

Příčný vítr 2:

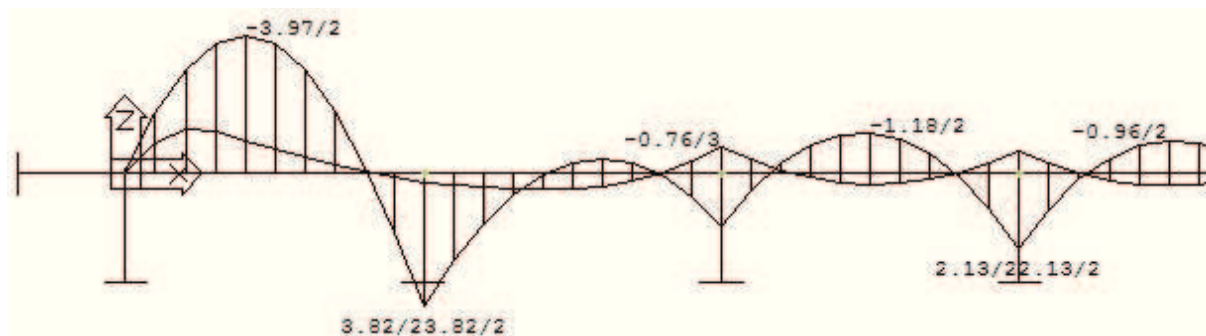
Účinky příčného větru 2 jsou menší, než v předchozím případě a ve výpočtu nejsou uvažovány.

Podélný vítr:



Obr. 80: Zátížení pro podélný vítr.

Náhradní zatížení od max. větru v krajním poli (charakteristická hodnota):



Obr. 81: Obalová křivka ohybových momentů pro vl. tíhu a příčný/podélný vítr.

$$M_{max} = 0,0778 * q_{k,vi} * l^2 \Rightarrow q_{k,vi}$$

$$q_{k,vi} = \frac{M_{max}}{0,0778 * l^2} = \frac{-3,97}{0,0778 * 10,3^2} = -0,48 \text{ kN/m}$$

#### 7.2.2.5 Kombinace zatížení:

- Stálé + sníh:  $q_{k,1} = g_k + s_k = 0,379 + 0,8 = 1,179 \text{ kN/m}$   
 $q_{d,1} = g_d + s_d = 0,512 + 1,2 = 1,712 \text{ kN/m}$
- Stálé + vítr:
  - Krajní pole:  $q_{k,2} = 0,379 - 0,480 = -0,101 \text{ kN/m}$   
 $q_{d,2} = 0,512 - 0,720 = -0,208 \text{ kN/m}$
  - 2. pole:  $q_{k,3} = 0,379 - 0,739 = -0,360 \text{ kN/m}$   
 $q_{d,3} = 0,512 - 1,109 = -0,597 \text{ kN/m}$

#### 7.2.2.6 Tabulková únosnost Z-vaznic:

- Zatížení tlakem:  $q_{Rd,1} = 2,05 \text{ kN/m}$
- Zatížení sáním:  $q_{Rd,2} = -1,46 \text{ kN/m}$
- Zatížení pro  $\delta_{lim}$ :  $q_{Rk} = 2,20 \text{ kN/m}$



## 7.2.2.7 Posouzení:

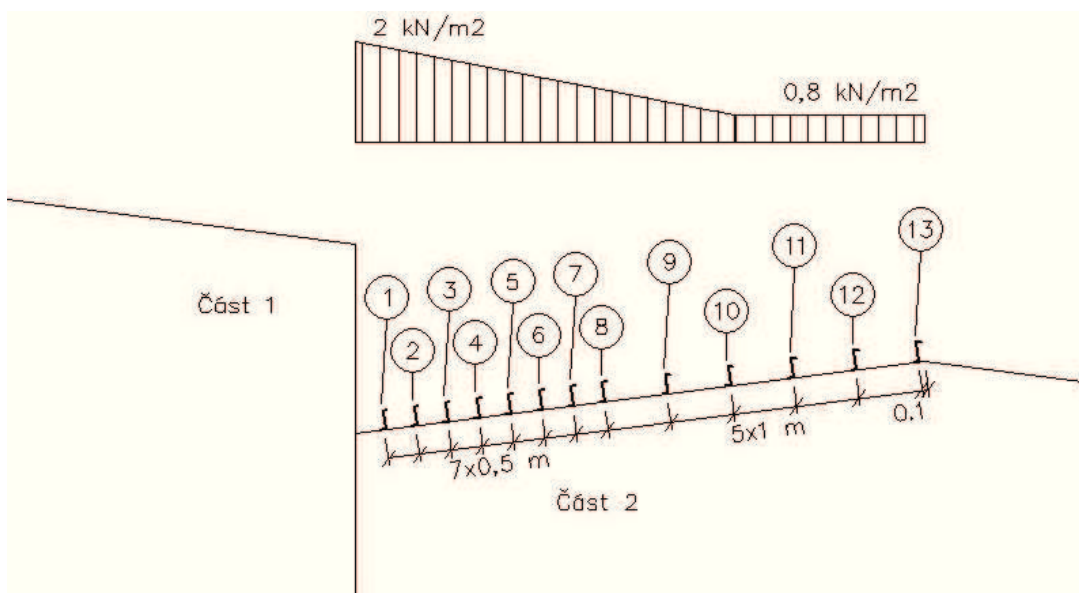
- MSÚ:  $q_{d,1} = 1,712 \text{ kNm}^{-1} \leq q_{Rd,1} = 2,05 \text{ kNm}^{-1} \dots \textbf{VYHOVUJE}$   
 $q_{d,2} = 0,597 \text{ kNm}^{-1} \leq q_{Rd,2} = 1,46 \text{ kNm}^{-1} \dots \textbf{VYHOVUJE}$
- MSP:  $q_{k,1} = 1,179 \text{ kNm}^{-1} \leq q_{Rk} = 2,20 \text{ kNm}^{-1} \dots \textbf{VYHOVUJE}$

## 7.2.3 Vnitřní střešní Z-vaznice (mezilehlá) – část 2 – vaznice č. 1

Vaznice bude přenášet pouze zatížení působící kolmo k rovině střechy.

## 7.2.3.1 Návrh:

Z-vaznice přenáší zatížení z trapézového plechu střešního pláště do jednotlivých rámců příčné vazby haly. Navrženy jsou vaznice Z-300/2,5-S pro vnitřní pole a vaznice Z-300/3-S pro krajní pole, hmotnost 11,33 kg/m. Vaznice působí jako spojitý nosník na celou délku haly. Rozpětí jednotlivých polí je 10,3 m. V části přiléhající k vyšší lodi haly musí být osová vzdálenost vaznic zmenšena, protože se zde nachází zatížení navátým sněhem.



Obr. 82: Schématické rozložení a číslování vaznic v části s navátým sněhem a zatížení navátým sněhem.

## 7.2.3.2 Materiálové charakteristiky:

- Ocel: S 350 GD
- Mez kluzu:  $f_{yb,k} = 350 \text{ MPa}$
- Mez pevnosti:  $f_{ub,k} = 420 \text{ MPa}$
- Modul pružnosti v tahu a tlaku:  $E_k = 210 \text{ GPa}$
- Modul pružnosti ve smyku:  $G_k = 81 \text{ GPa}$

## 7.2.3.3 Zatížení vaznice:

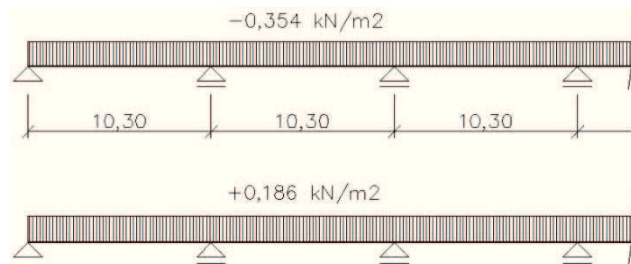
Stálé:

- Střešní plášť:  $g_{k,sp} = 0,266 * 0,55 = 0,146 \text{ kN/m}$
- Vlastní tíha:  $g_{k,vt} = 0,113 \text{ kN/m}$

- Celkem:  $g_k = 0,259 \text{ kN/m}$   
 $g_d = 1,35 * 0,259 = 0,350 \text{ kN/m}$

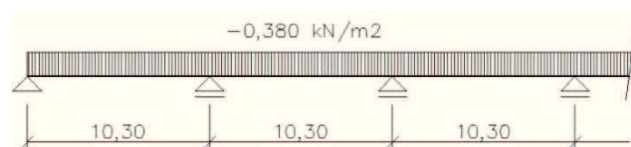
Sníh:  $s_k = 2 * 0,55 = 1,1 \text{ kN/m}$   
 $s_d = 1,1 * 1,5 = 1,65 \text{ kN/m}$

Příčný vítr 1:



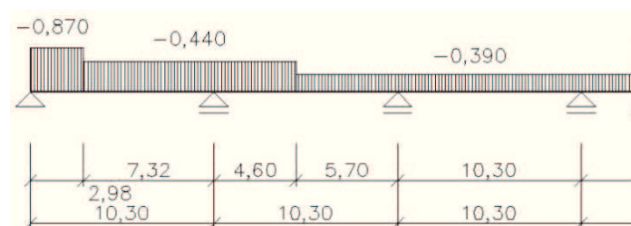
Obr. 83: Kombinace zatížení pro příčný vítr 1.

Příčný vítr 2:



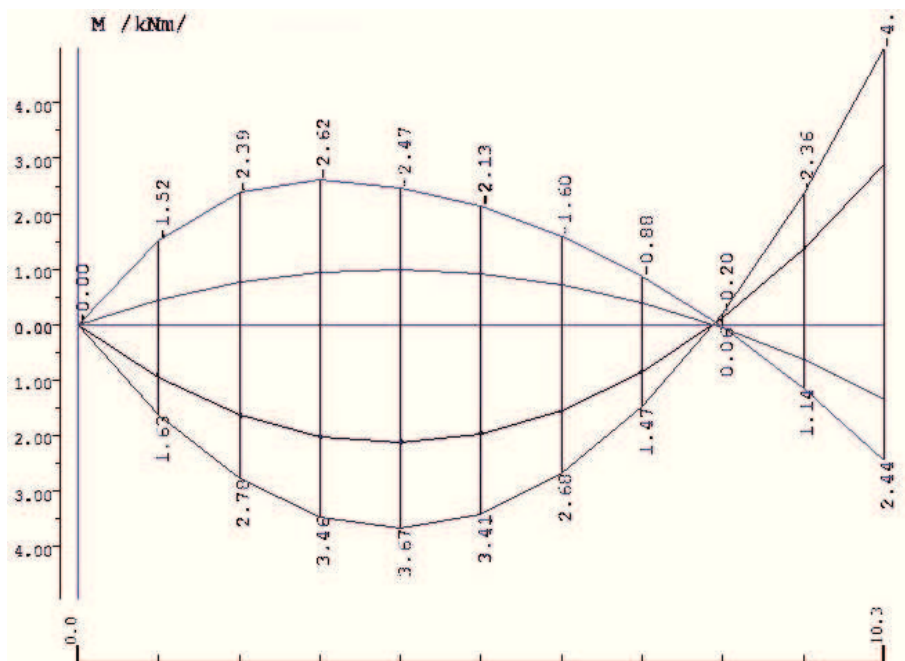
Obr. 84: Kombinace zatížení pro příčný vítr 2.

Podélný vítr:



Obr. 85: Zatížení pro podélný vítr.

Náhradní zatížení od větru v krajním poli (charakteristická hodnota):



Obr. 86: Obalová křivka ohybových momentů pro vl. tíhu a příčný/podélný vítr.

$$M_{max} = 0,0778 * q_{k,vi} * l^2 \Rightarrow q_{k,vi}$$

$$q_{k,vi}^- = \frac{M_{max}}{0,0778 * l^2} = \frac{-2,67}{0,0778 * 10,3^2} = -0,323 \text{ kN/m}$$

$$q_{k,vi}^+ = \frac{M_{max}}{0,0778 * l^2} = \frac{+3,67}{0,0778 * 10,3^2} = +0,445 \text{ kN/m}$$

#### 7.2.3.4 Kombinace zatížení:

- Stálé + sníh:  $q_{k,1} = g_k + s_k = 0,259 + 1,1 = 1,359 \text{ kN/m}$   
 $q_{d,1} = g_d + s_d = 0,350 + 1,65 = 2 \text{ kN/m}$
- Stálé + vítr:
  - Krajní pole:  $q_{k,2} = 0,259 - 0,323 = -0,064 \text{ kN/m}$   
 $q_{d,2} = 0,350 - 0,485 = -0,135 \text{ kN/m}$   
 $q_{k,3} = 0,259 + 0,445 = 0,704 \text{ kN/m}$   
 $q_{d,3} = 0,350 + 0,668 = 1,018 \text{ kN/m}$
  - 2. pole:  $q_{k,3} = 0,259 - 0,440 = -0,181 \text{ kN/m}$   
 $q_{d,3} = 0,350 - 0,660 = -0,310 \text{ kN/m}$

#### 7.2.3.5 Tabulková únosnost Z-vaznic:

- Zatížení tlakem:  $q_{Rd,1} = 2,05 \text{ kN/m}$
- Zatížení sáním:  $q_{Rd,2} = -1,46 \text{ kN/m}$
- Zatížení pro  $\delta_{lim}$ :  $q_{Rk} = 2,20 \text{ kN/m}$

### 7.2.3.6 Posouzení:

- MSÚ:  $q_{d,1} = 2,000 \text{ kNm}^{-1} \leq q_{Rd,1} = 2,05 \text{ kNm}^{-1} \dots \textbf{VYHOVUJE}$   
 $q_{d,2} = 0,310 \text{ kNm}^{-1} \leq q_{Rd,2} = 1,46 \text{ kNm}^{-1} \dots \textbf{VYHOVUJE}$
- MSP:  $q_{k,1} = 1,359 \text{ kNm}^{-1} \leq q_{Rk} = 2,20 \text{ kNm}^{-1} \dots \textbf{VYHOVUJE}$

## 7.2.4 Vnitřní střešní Z-vaznice (mezilehlá) – část 2 – vaznice č. 8

Vaznice bude přenášet pouze zatížení působící kolmo k rovině střechy.

### 7.2.4.1 Zatížení vaznice:

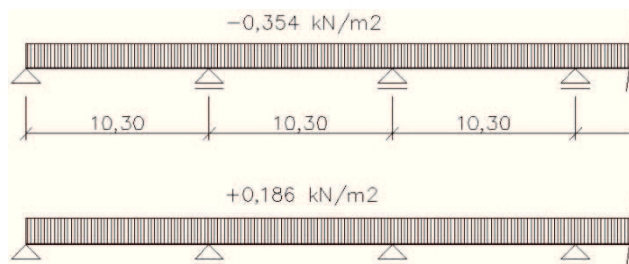
Stálé:

- Střešní plášť:  $g_{k,sp} = 0,266 * 0,75 = 0,199 \text{ kN/m}$
- Vlastní tíha:  $g_{k,vt} = 0,113 \text{ kN/m}$
- Celkem:  $g_k = 0,312 \text{ kN/m}$   
 $g_d = 1,35 * 0,312 = 0,421 \text{ kN/m}$

Sníh:  $s_k = 0,833 * 0,75 = 0,625 \text{ kN/m}$

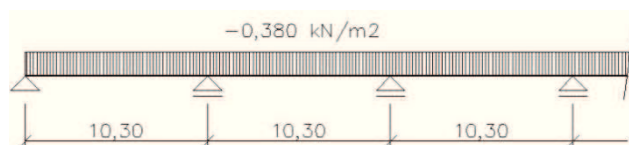
$s_d = 0,625 * 1,5 = 0,938 \text{ kN/m}$

Příčný vítr 1:



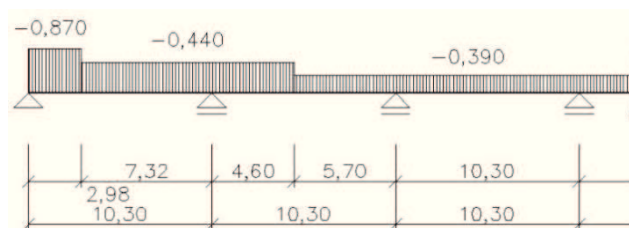
Obr. 87: Kombinace zatížení pro příčný vítr 1.

Příčný vítr 2:



Obr. 88: Kombinace zatížení pro příčný vítr 2.

Podélný vítr:



Obr. 89: Zatížení pro podélný vítr.

Náhradní zatížení od větru v krajním poli (charakteristická hodnota):

$$\begin{aligned}M_{max} &= 0,0778 * q_{k,vi} * l^2 \Rightarrow q_{k,vi} \\q_{k,vi}^- &= \frac{M_{max}}{0,0778 * l^2} = \frac{-2,67}{0,0778 * 10,3^2} = -0,323 \text{ kN/m} \\q_{k,vi}^+ &= \frac{M_{max}}{0,0778 * l^2} = \frac{+3,67}{0,0778 * 10,3^2} = +0,445 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

#### 7.2.4.2 Kombinace zatížení:

- Stálé + sníh:  $q_{k,1} = g_k + s_k = 0,312 + 0,625 = 0,937 \text{ kN/m}$   
 $q_{d,1} = g_d + s_d = 0,421 + 0,938 = 1,359 \text{ kN/m}$
- Stálé + vítr:
  - Krajní pole:  $q_{k,2} = 0,312 - 0,323 = -0,011 \text{ kN/m}$   
 $q_{d,2} = 0,421 - 0,485 = -0,064 \text{ kN/m}$   
  
 $q_{k,3} = 0,312 + 0,445 = 0,757 \text{ kN/m}$   
 $q_{d,3} = 0,421 + 0,668 = 1,089 \text{ kN/m}$
  - 2. pole:  $q_{k,3} = 0,312 - 0,440 = -0,128 \text{ kN/m}$   
 $q_{d,3} = 0,421 - 0,660 = -0,239 \text{ kN/m}$

#### 7.2.4.3 Tabulková únosnost Z-vaznic:

- Zatížení tlakem:  $q_{Rd,1} = 2,05 \text{ kN/m}$
- Zatížení sáním:  $q_{Rd,2} = -1,46 \text{ kN/m}$
- Zatížení pro  $\delta_{lim}$ :  $q_{Rk} = 2,20 \text{ kN/m}$

#### 7.2.4.4 Posouzení:

- MSÚ:  $q_{d,1} = 1,359 \text{ kNm}^{-1} \leq q_{Rd,1} = 2,05 \text{ kNm}^{-1} \dots \textbf{VYHOVUJE}$   
 $q_{d,2} = 0,239 \text{ kNm}^{-1} \leq q_{Rd,2} = 1,46 \text{ kNm}^{-1} \dots \textbf{VYHOVUJE}$
- MSP:  $q_{k,1} = 0,937 \text{ kNm}^{-1} \leq q_{Rk} = 2,20 \text{ kNm}^{-1} \dots \textbf{VYHOVUJE}$

### 7.2.5 Okapové vaznice

Okapové vaznice přenáší zatížení kolmo ke střešní rovině a síly od podélného větru do hlavního podélného ztužidla. Ohybem jsou namáhány méně vlivem menší roznášecí šířky. Budou posouzeny při návrhu ztužidla na kombinaci ohybu a osově síly v následujících kapitolách.

### 7.2.6 Vrcholové vaznice

Vrcholové vaznice přenáší zatížení kolmé k rovině střechy ze své zatěžovací šířky. Kromě tohoto zatížení přenáší zatížení rovnoběžné se střešní rovinou, které se do nich přenáší prostřednictvím plášťového působení trapézového plechu. Další přitížení je způsobeno svislou složkou od zatížení rovnoběžného se střešní rovinou.

Vaznice jsou zdvojeny, proto je namáhání v kolmém směru výrazně menší. Vrcholové vaznice jsou v místech mimo připojovací botku spojeny spojovacím hřebenovým průběžným plechem a příložkami vzdálenými jeden metr.

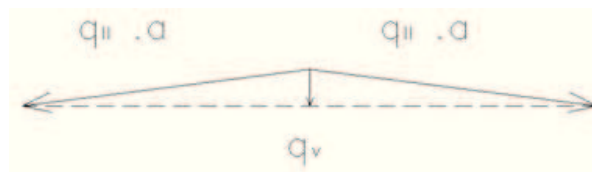
#### 7.2.6.1 Zatížení

$a = 9,2 \text{ m}$  (šikmá délka jedné strany sedlové střechy)

$q_{Ed} = 1,72 \text{ kNm}^{-1}$  (zatížení převzaté ze zatížení vnitřní vaznice)

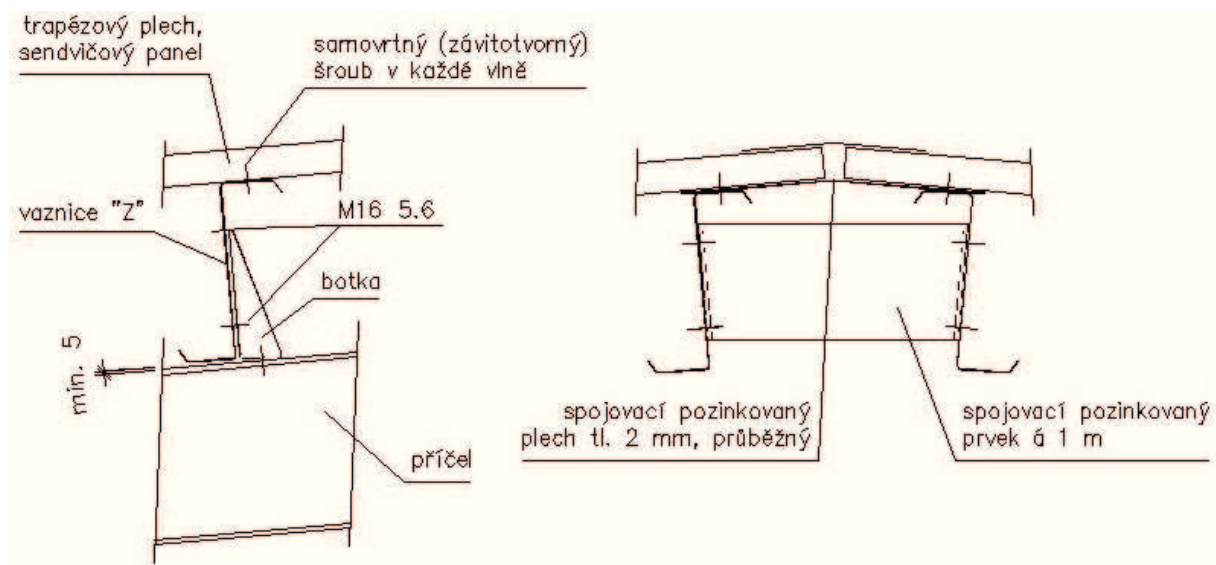
$$q_{\parallel} = \sin \alpha * \frac{q_{Ed}}{1} = \sin 7^{\circ} * \frac{1,72}{1} = 0,209 \text{ kNm}^{-2}$$

$$q_v = 2 * \sin \alpha * q_{\parallel} * a = 2 * \sin 7^{\circ} * 0,209 * 9,2 = 0,468 \text{ kNm}^{-1}$$

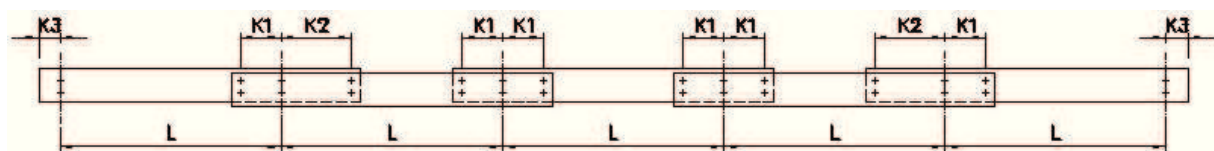


Obr. 90: Rozklad sil ve vrcholu.

#### 7.2.7 Konstrukční zásady spojování a připojování vaznic



Obr. 91: Kotvení mezilehlých vaznic a propojení vrcholových vaznic.



Obr. 92: Spojování vaznic v podélném směru.

$$K_1 = 600 \text{ mm}$$

$$K_2 = 900 \text{ mm}$$

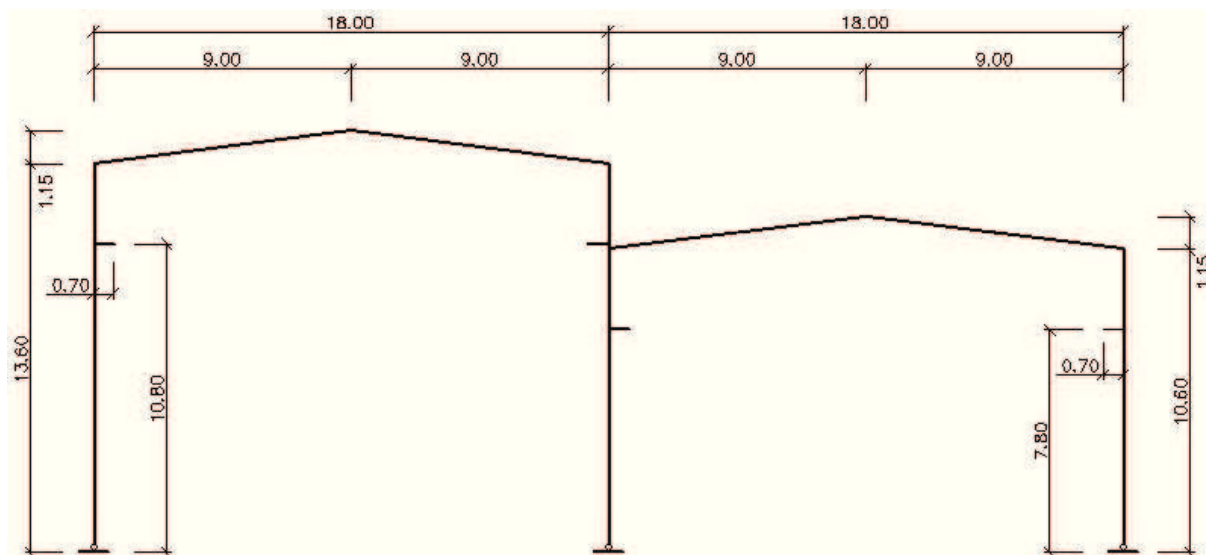
$$K_3 = \text{min. } 30 \text{ mm}$$

### 7.3 NÁVRH A POSOUZENÍ PŘÍČNÉ VAZBY HALY

Veškeré prvky příčné vazby haly jsou navrženy z oceli S 235. Pro posouzení se uvažuje druhý rám od kraje haly, protože je v oblasti plné roznášecí šířky a největšího sání větru.

$$f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1,0} = 235 \text{ MPa}$$

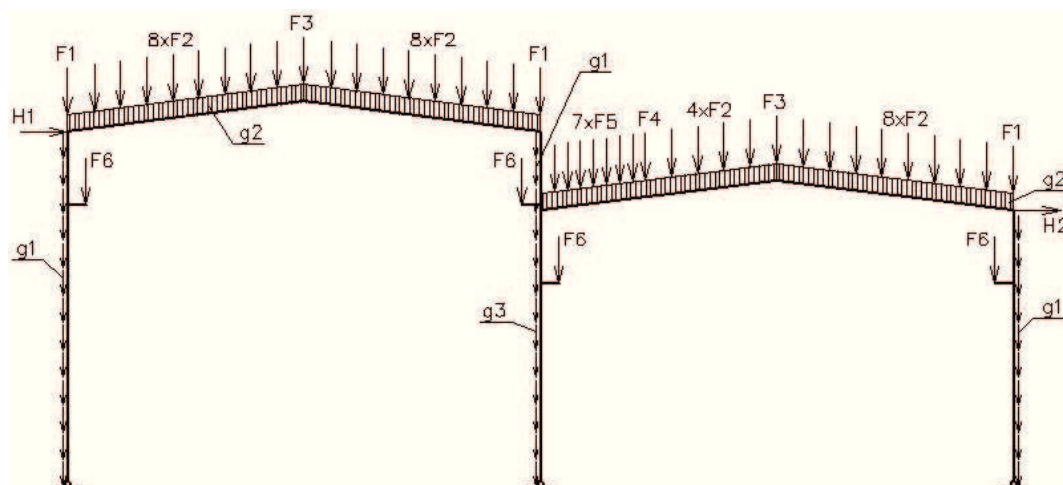


Obr. 93: Geometrické schéma příčné vazby haly.

#### 7.3.1 Analýza zatížení – zatěžovací stavy

- Uvedené hodnoty zatížení jsou v charakteristických hodnotách.
- Součinitelé zatížení:  $\gamma_{fg} = 1,35$  (stálé)  
 $\gamma_{fq} = 1,50$  (nahodilé)

##### 7.3.1.1 Zatížení stálé:

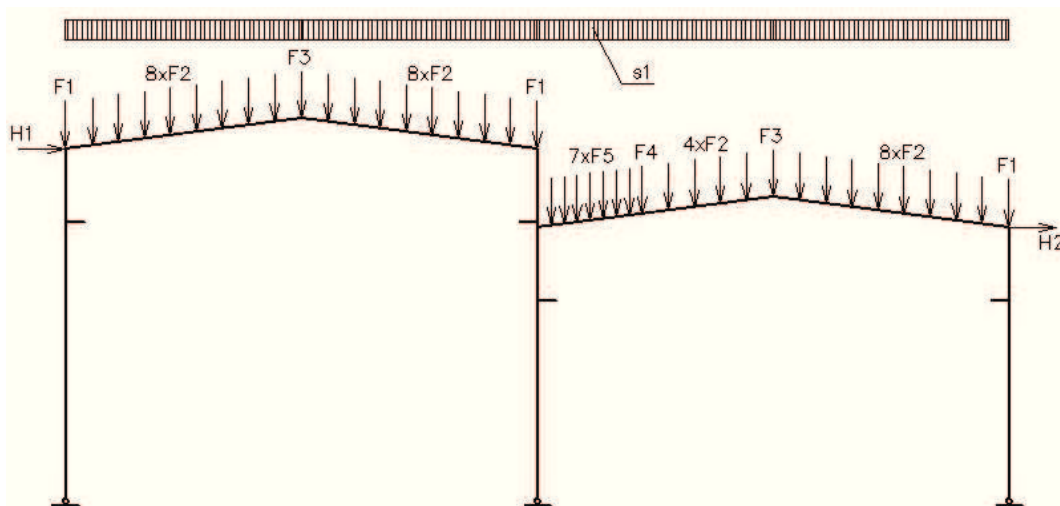


Obr. 94: Schéma rozložení zatížení.



- Předpokládaný profil s rezervou:
  - Příčel: HEB 550 – vlastní tíha 199 kg/m
  - Sloup: HEB 500 – vlastní tíha 188 kg/m
- Osamělá břemena:
  - $F_1 = 0,266 * 10,3 * 0,5 + 0,113 * \frac{10,3}{2} = 1,95 \text{ kN}$
  - $F_2 = 0,266 * 10,3 * 1 + 0,113 * \frac{10,3}{2} = 3,32 \text{ kN}$
  - $F_3 = 3,32 + 0,468 * 10,3 * \frac{0,379}{1,179} = 4,87 \text{ kN}$
  - $F_4 = 0,266 * 10,3 * 0,75 + 0,113 * \frac{10,3}{2} = 2,63 \text{ kN}$
  - $F_5 = 0,266 * 10,3 * 0,5 + 0,113 * \frac{10,3}{2} = 1,95 \text{ kN}$
  - $F_6 = 3,4 * \frac{10,3}{2} * 2 = 35,02 \text{ kN}$
- Spojitá zatížení:
  - $g_1 = 1,88 + 0,312 * 10,3 = 5,09 \text{ kN/m}$
  - $g_2 = 1,99 \text{ kN/m}$
  - $g_3 = 1,88 \text{ kN/m}$
- Vliv rámových imperfekcí:
  - $H_1 = \frac{1}{200} (2 * 1,95 + 16 * 3,32 + 4,87 + 5,2 * (13,6 + 3) + 0,92 * 18 + 1,99 * 10,6) = 0,93 \text{ kN}$
  - $H_2 = \frac{1}{200} (1,95 + 12 * 3,32 + 4,87 + 2,63 + 7 * 1,95 + 0,92 * 18 + 5,2 * 10,6) = 0,67 \text{ kN}$

### 7.3.1.2 Zatížení sněhem – sníh celý:



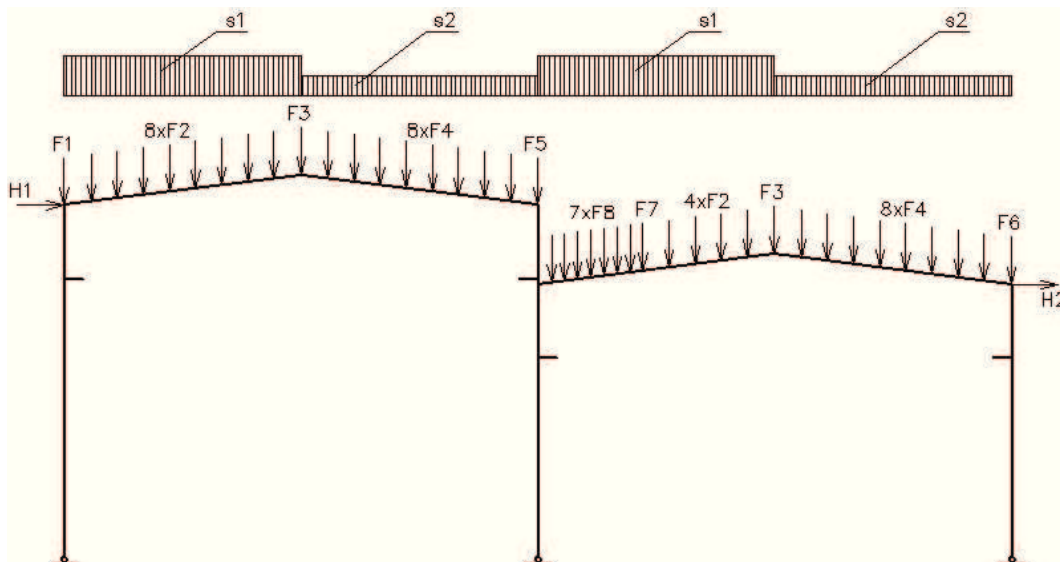
Obr. 95: Schéma rozložení zatížení.

- Osamělá břemena:
  - $F_1 = 0,8 * 10,3 * 0,5 = 4,12 \text{ kN}$
  - $F_2 = 0,8 * 10,3 * 1 = 8,24 \text{ kN}$
  - $F_3 = 8,24 + 0,468 * 10,3 * \frac{0,8}{1,179} = 11,51 \text{ kN}$
  - $F_4 = 0,8 * 10,3 * 0,75 = 6,18 \text{ kN}$
  - $F_5 = 0,8 * 10,3 * 0,5 = 4,12 \text{ kN}$

- Vliv rámových imperfekcí:

- $H_1 = \frac{1}{200} (0,8 * 10,3 * 18) = 0,74 \text{ kN}$
- $H_2 = \frac{1}{200} (0,8 * 10,3 * 18) = 0,74 \text{ kN}$

### 7.3.1.3 Zatížení sněhem – sníh poloviční 1:



Obr. 96: Schéma rozložení zatížení.

- Osamělá břemena:

- $F_1 = 0,8 * 10,3 * 0,5 = 4,12 \text{ kN}$
- $F_2 = 0,8 * 10,3 * 1 = 8,24 \text{ kN}$
- $F_3 = 0,8 * 10,3 * 0,5 + 0,4 * 10,3 * 0,5 + 0,468 * 10,3 * \frac{0,8}{1,179} = 9,45 \text{ kN}$
- $F_4 = 0,4 * 10,3 * 1 = 4,12 \text{ kN}$
- $F_5 = 0,4 * 10,3 * 0,5 = 2,06 \text{ kN}$
- $F_6 = 0,4 * 10,3 * 0,5 = 2,06 \text{ kN}$
- $F_7 = 0,8 * 10,3 * 0,75 = 6,18 \text{ kN}$
- $F_8 = 0,8 * 10,3 * 0,5 = 4,12 \text{ kN}$

- Vliv rámových imperfekcí:

- $H_1 = \frac{1}{200} (0,8 * 10,3 * 9 + 0,4 * 10,3 * 9) = 0,56 \text{ kN}$
- $H_2 = \frac{1}{200} (0,8 * 10,3 * 9 + 0,4 * 10,3 * 9) = 0,56 \text{ kN}$

### 7.3.1.4 Zatížení sněhem – sníh poloviční 2:

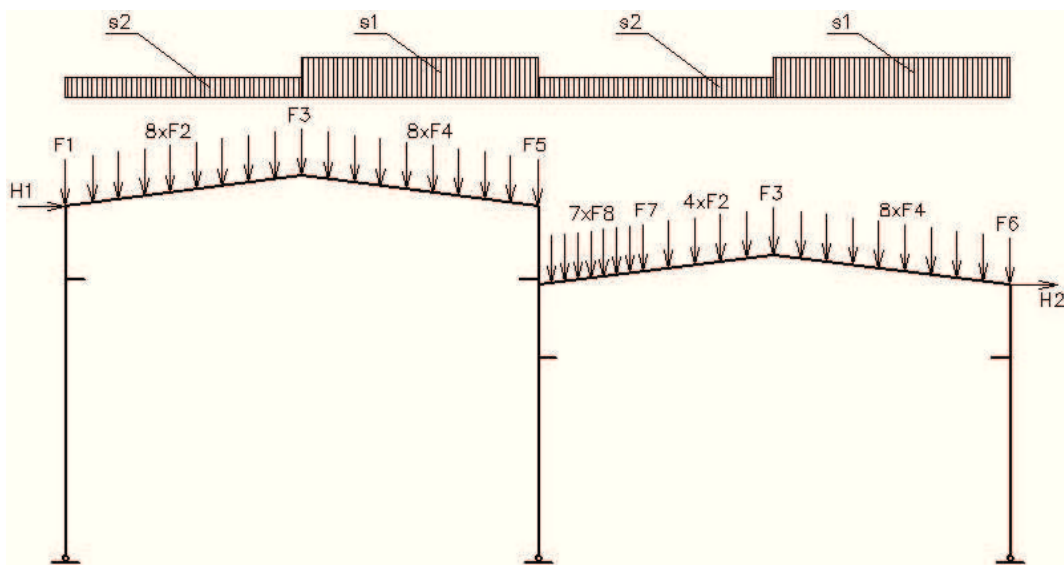
- Osamělá břemena:

- $F_1 = 0,4 * 10,3 * 0,5 = 2,06 \text{ kN}$
- $F_2 = 0,4 * 10,3 * 1 = 4,12 \text{ kN}$
- $F_3 = 0,8 * 10,3 * 0,5 + 0,4 * 10,3 * 0,5 + 0,468 * 10,3 * \frac{0,8}{1,179} = 9,45 \text{ kN}$
- $F_4 = 0,8 * 10,3 * 1 = 8,24 \text{ kN}$
- $F_5 = 0,8 * 10,3 * 0,5 = 4,12 \text{ kN}$

- $F_6 = 0,4 * 10,3 * 0,5 = 4,12 \text{ kN}$
- $F_7 = 0,4 * 10,3 * 0,75 = 3,09 \text{ kN}$
- $F_8 = 0,4 * 10,3 * 0,5 = 2,06 \text{ kN}$

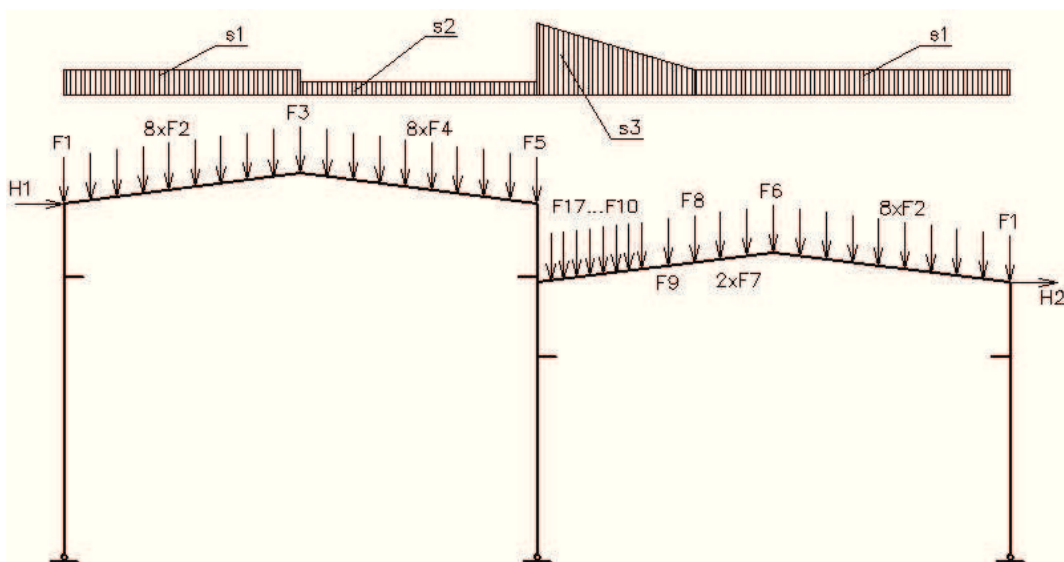
- Vliv rámových imperfekcí:

- $H_1 = \frac{1}{200} (0,8 * 10,3 * 9 + 0,4 * 10,3 * 9) = 0,56 \text{ kN}$
- $H_2 = \frac{1}{200} (0,8 * 10,3 * 9 + 0,4 * 10,3 * 9) = 0,56 \text{ kN}$



Obr. 97: Schéma rozložení zatížení.

## 7.3.1.5 Zatížení sněhem – sníh navátý 1:



Obr. 98: Schéma rozložení zatížení.

- Osamělá břemena:

- $F_1 = 0,8 * 10,3 * 0,5 = 4,12 \text{ kN}$
- $F_2 = 0,8 * 10,3 * 1 = 8,24 \text{ kN}$

- $H_1 = \frac{1}{200}(0,8 * 10,3 * 9 + 0,4 * 10,3 * 9) = 0,56 \text{ kN}$
- $H_2 = \frac{1}{200}\left(0,8 * 10,3 * 12 + \frac{1}{2} * 2 * 10,3 * 6\right) = 0,80 \text{ kN}$

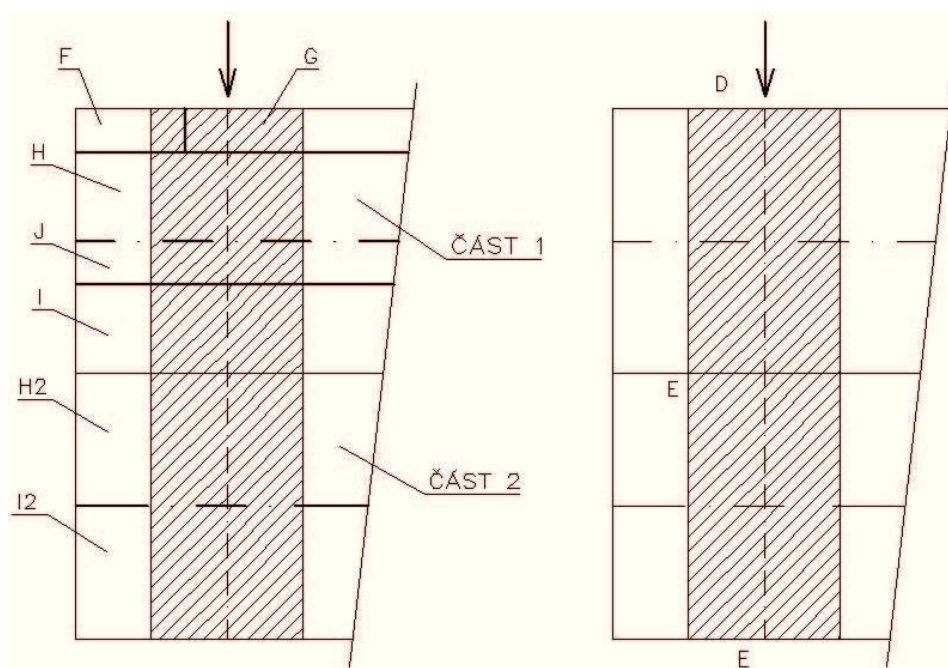
- $F_1 = 0,4 * 10,3 * 0,5 = 2,06 \text{ kN}$
- $F_2 = 0,4 * 10,3 * 1 = 4,12 \text{ kN}$

- $F_3 = 0,4 * 10,3 * 0,5 + 0,8 * 10,3 * 0,5 + 0,468 * 10,3 * \frac{0,8}{1,179} = 9,45 \text{ kN}$
- $F_4 = 0,8 * 10,3 * 1 = 8,24 \text{ kN}$
- $F_5 = 0,8 * 10,3 * 0,5 = 4,12 \text{ kN}$
- $F_6 = 0,8 * 10,3 * 1 + 0,468 * 10,3 * \frac{0,8}{1,179} = 11,51 \text{ kN}$
- $F_7 = 0,8 * 10,3 * 1 = 8,24 \text{ kN}$
- $F_8 = 0,8 * 10,3 * 0,5 + \left(0,8 + \frac{1}{2} * 0,20\right) * 10,3 * 0,5 = 8,75 \text{ kN}$
- $F_9 = \left(0,8 + \frac{1}{2} * 0,20\right) * 10,3 * 0,5 + \left(0,8 + \frac{1}{2} * 0,39\right) * 10,3 * 0,5 = 9,75 \text{ kN}$
- $F_{10} = \left(0,8 + \frac{1}{2} * 0,39\right) * 10,3 * 0,5 + \left(0,8 + \frac{1}{2} * 0,49\right) * 10,3 * 0,25 = 7,81 \text{ kN}$
- $F_{11} = \left(0,8 + \frac{1}{2} * 0,49\right) * 10,3 * 0,25 + \left(0,8 + \frac{1}{2} * 0,59\right) * 10,3 * 0,25 = 5,51 \text{ kN}$
- $F_{12} = \left(0,8 + \frac{1}{2} * 0,59\right) * 10,3 * 0,25 + \left(0,8 + \frac{1}{2} * 0,69\right) * 10,3 * 0,25 = 5,76 \text{ kN}$
- $F_{13} = \left(0,8 + \frac{1}{2} * 0,69\right) * 10,3 * 0,25 + \left(0,8 + \frac{1}{2} * 0,79\right) * 10,3 * 0,25 = 6,02 \text{ kN}$
- $F_{14} = \left(0,8 + \frac{1}{2} * 0,79\right) * 10,3 * 0,25 + \left(0,8 + \frac{1}{2} * 0,89\right) * 10,3 * 0,25 = 6,28 \text{ kN}$
- $F_{15} = \left(0,8 + \frac{1}{2} * 0,89\right) * 10,3 * 0,25 + \left(0,8 + \frac{1}{2} * 0,99\right) * 10,3 * 0,25 = 6,54 \text{ kN}$
- $F_{16} = \left(0,8 + \frac{1}{2} * 0,99\right) * 10,3 * 0,25 + \left(0,8 + \frac{1}{2} * 1,09\right) * 10,3 * 0,25 = 6,79 \text{ kN}$
- $F_{17} = \left(0,8 + \frac{1}{2} * 1,09\right) * 10,3 * 0,25 + \left(0,8 + \frac{1}{2} * 2,00\right) * 10,3 * 0,25 = 8,09 \text{ kN}$

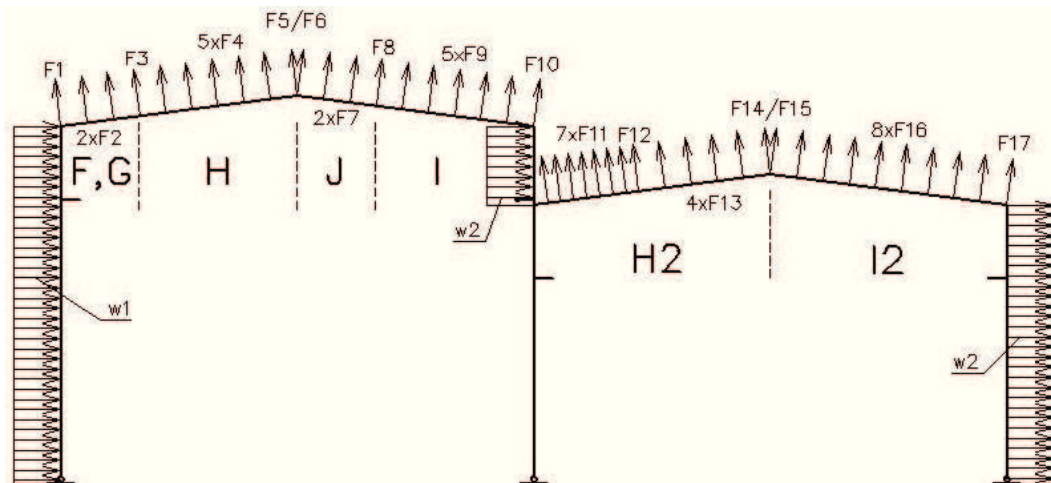
- Vliv rámových imperfekcí:

- $H_1 = \frac{1}{200} (0,8 * 10,3 * 9 + 0,4 * 10,3 * 9) = 0,56 \text{ kN}$
- $H_2 = \frac{1}{200} \left(0,8 * 10,3 * 12 + \frac{1}{2} * 2 * 10,3 * 6\right) = 0,80 \text{ kN}$

#### 7.3.1.7 Zatížení větrem – vítr příčný 1:



Obr. 100: Oblasti střešního pláště a stěny působící na rám při příčném větru 1.



Obr. 101: Schéma rozložení zatížení.

- Osamělá břemena, vnitřní tlak +0,2:

- $F_1 = (F * 2,3 + G * 8) * 0,5 = 4,07 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_2 = (F * 2,3 + G * 8) * 1 = 8,15 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_3 = (F * 2,3 + G * 8) * 0,5 + H * 10,3 * 0,5 = 6,21 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_4 = H * 10,3 * 1 = 4,26 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_5 = \frac{4,26}{2} = 2,13 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_6 = J * 10,3 * 0,5 = 2,53 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_7 = 2,53 * 2 = 5,07 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_8 = (J + I) * 10,3 * 0,5 = 4,08 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_9 = I * 10,3 * 1 = 3,09 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_{10} = \frac{3,09}{2} = 1,54 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_{11} = H_2 * 10,3 * 0,5 = 1,82 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_{12} = H_2 * 10,3 * 0,75 = 2,73 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_{13} = H_2 * 10,3 * 1 = 3,64 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_{14} = \frac{3,64}{2} = 1,82 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_{15} = I_2 * 10,3 * 0,5 = 1,54 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_{16} = I_2 * 10,3 * 1 = 3,09 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_{17} = \frac{3,09}{2} = 1,54 \text{ kN} \quad (\uparrow)$

- Spojitá zatížení, vnitřní tlak +0,2:

- $w_1 = D * 10,3 = 2,99 \text{ kN/m} \quad (\rightarrow)$
- $w_2 = E * 10,3 = 3,11 \text{ kN/m} \quad (\rightarrow)$

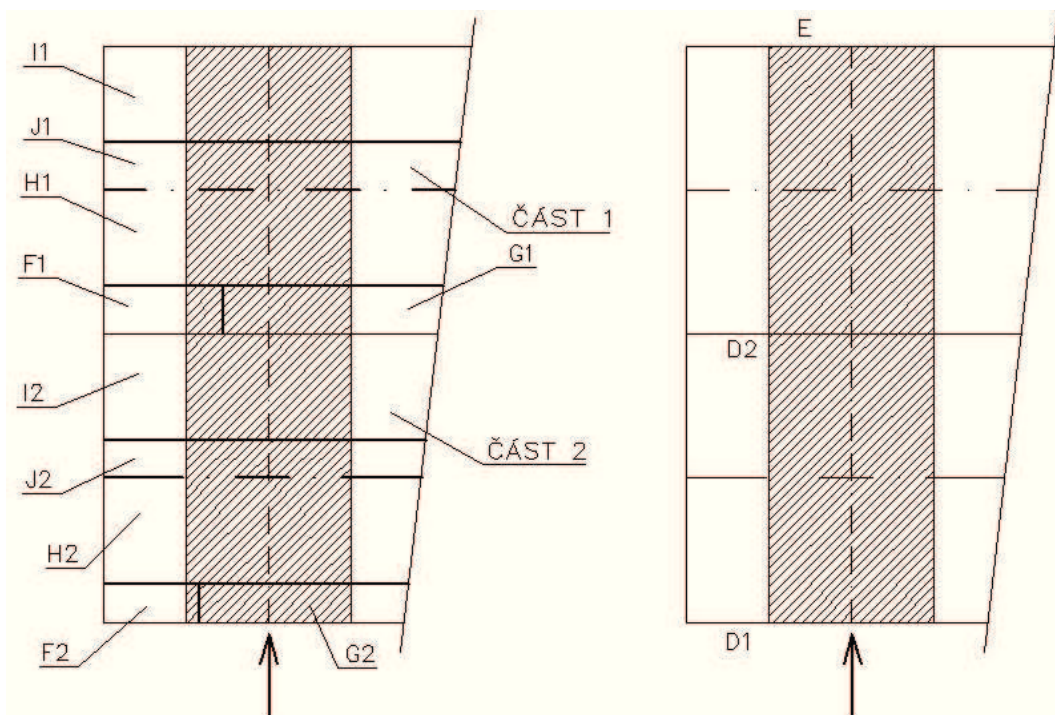
- Osamělá břemena, vnitřní tlak -0,3:

- $F_1 = (F * 2,3 + G * 8) * 0,5 = -0,98 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
- $F_2 = (F * 2,3 + G * 8) * 1 = -1,95 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
- $F_3 = (F * 2,3 + G * 8) * 0,5 + H * 10,3 * 0,5 = -1,95 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
- $F_4 = H * 10,3 * 1 = -1,95 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
- $F_5 = \frac{-1,95}{2} = -0,97 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
- $F_6 = J * 10,3 * 0,5 = -1,32 \text{ kN} \quad (\downarrow)$



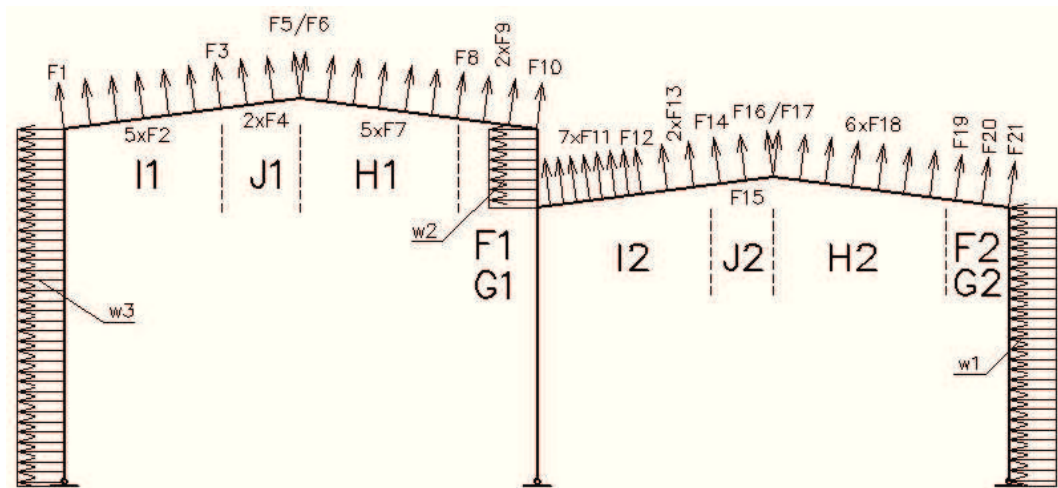
- $F_7 = -1,32 * 2 = -2,65 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
  - $F_8 = (J + I) * 10,3 * 0,5 = -1,22 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
  - $F_9 = I * 10,3 * 1 = 0,206 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
  - $F_{10} = \frac{0,206}{2} = 0,103 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
  - $F_{11} = H_2 * 10,3 * 0,5 = -0,95 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
  - $F_{12} = H_2 * 10,3 * 0,75 = -1,43 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
  - $F_{13} = H_2 * 10,3 * 1 = -1,91 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
  - $F_{14} = \frac{-1,91}{2} = -0,95 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
  - $F_{15} = I_2 * 10,3 * 0,5 = 0,10 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
  - $F_{16} = I_2 * 10,3 * 1 = 0,20 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
  - $F_{17} = \frac{0,20}{2} = 0,10 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- Spojitá zatížení, vnitřní tlak -0,3:
- $w_1 = D * 10,3 = 5,88 \text{ kN/m}$
  - $w_2 = E * 10,3 = 0,22 \text{ kN/m}$

### 7.3.1.8 Zatížení větrem – vítr příčný 2:



Obr. 102: Oblasti střešního pláště a stěny působící na rám při příčném větru 2.





Obr. 103: Schéma rozložení zatížení.

- Osamělá břemena, vnitřní tlak +0,2:

- $F_1 = I_1 \cdot 10,3 \cdot 0,5 = 2,19 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_2 = I_1 \cdot 10,3 \cdot 1 = 4,38 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_3 = (I_1 + J_1) \cdot 0,5 \cdot 10,3 = 4,73 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_4 = J_1 \cdot 10,3 \cdot 1 = 5,07 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_5 = J_1 \cdot 10,3 \cdot 0,5 = 2,53 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_6 = H_1 \cdot 10,3 \cdot 0,5 = 2,13 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_7 = H_1 \cdot 10,3 \cdot 1 = 4,26 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_8 = (F_1 \cdot 2,3 + G_1 \cdot 8) \cdot 0,5 + H_1 \cdot 10,3 \cdot 0,5 = 6,21 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_9 = (F_1 \cdot 2,3 + G_1 \cdot 8) \cdot 1 = 8,15 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_{10} = (F_1 \cdot 2,3 + G_1 \cdot 8) \cdot 0,5 = 4,07 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_{11} = I_2 \cdot 10,3 \cdot 0,5 = 1,95 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_{12} = I_2 \cdot 10,3 \cdot 0,75 = 2,93 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_{13} = I_2 \cdot 10,3 \cdot 1 = 3,91 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_{14} = J_2 \cdot (0,5 + 0,36) \cdot 10,3 + I_2 \cdot 0,14 \cdot 10,3 = 4,44 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_{15} = J_2 \cdot 1 \cdot 10,3 = 4,53 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_{16} = J_2 \cdot 10,3 \cdot 0,5 = 2,26 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_{17} = H_2 \cdot 10,3 \cdot 0,5 = 1,90 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_{18} = H_2 \cdot 10,3 \cdot 1 = 3,81 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_{19} = H_2 \cdot 10,3 \cdot 0,14 + F_2 \cdot 0,86 \cdot 0,8 + G_2 \cdot 0,86 \cdot 9,5 = 6,52 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_{20} = (F_2 \cdot 0,8 + G_2 \cdot 9,5) \cdot 1 = 6,96 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_{21} = (F_2 \cdot 0,8 + G_2 \cdot 9,5) \cdot 0,5 = 3,48 \text{ kN} \quad (\uparrow)$

- Spojitá zatížení, vnitřní tlak +0,2:

- $w_1 = D_1 \cdot 10,3 = 2,67 \text{ kN/m} \quad (\leftarrow)$
- $w_2 = D_2 \cdot 10,3 = 2,99 \text{ kN/m} \quad (\leftarrow)$
- $w_3 = E \cdot 10,3 = 0,22 \text{ kN/m} \quad (\leftarrow)$

- Osamělá břemena, vnitřní tlak -0,3:

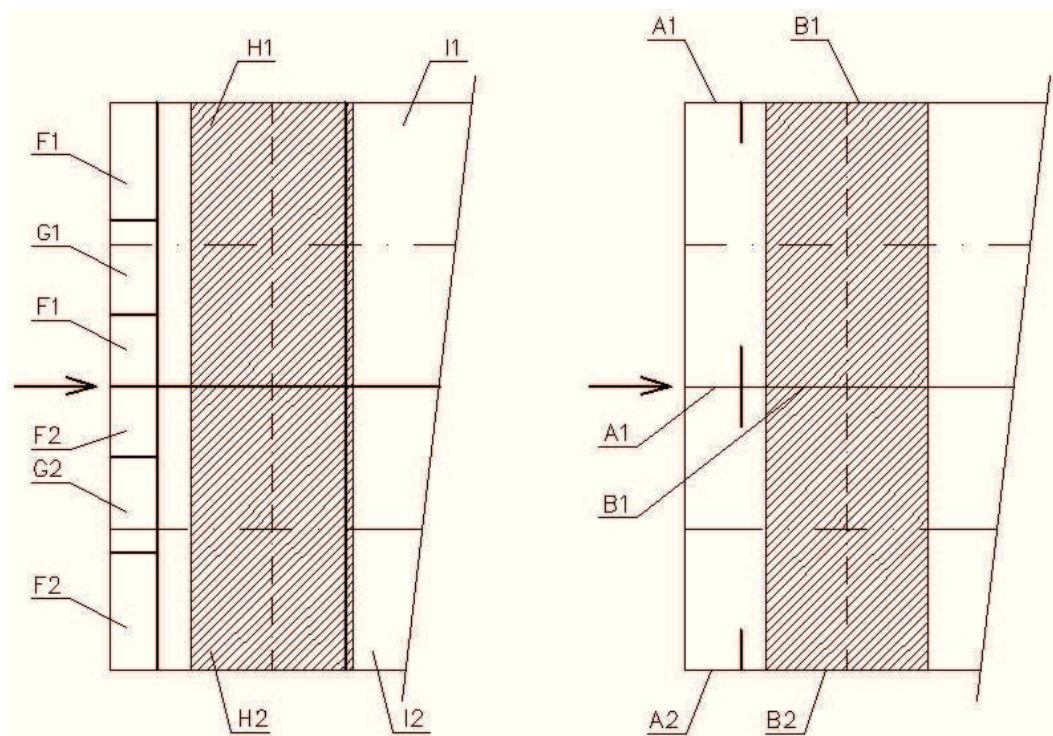
- $F_1 = I_1 \cdot 10,3 \cdot 0,5 = 0,75 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_2 = I_1 \cdot 10,3 \cdot 1 = 1,50 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_3 = (I_1 + J_1) \cdot 0,5 \cdot 10,3 = -0,57 \text{ kN} \quad (\downarrow)$

- $F_4 = J_1 * 10,3 * 1 = -2,65 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
- $F_5 = J_1 * 10,3 * 0,5 = -1,32 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
- $F_6 = H_1 * 10,3 * 0,5 = -0,97 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
- $F_7 = H_1 * 10,3 * 1 = -1,95 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
- $F_8 = (F_1 * 2,3 + G_1 * 8) * 0,5 + H_1 * 10,3 * 0,5 = -1,95 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
- $F_9 = (F_1 * 2,3 + G_1 * 8) * 1 = -1,95 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
- $F_{10} = (F_1 * 2,3 + G_1 * 8) * 0,5 = -0,97 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
- $F_{11} = I_2 * 10,3 * 0,5 = 0,66 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_{12} = I_2 * 10,3 * 0,75 = 1,00 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_{13} = I_2 * 10,3 * 1 = 1,33 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- $F_{14} = J_2 * (0,5 + 0,36) * 10,3 + I_2 * 0,14 * 10,3 = -1,84 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
- $F_{15} = J_2 * 1 * 10,3 = -2,36 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
- $F_{16} = J_2 * 10,3 * 0,5 = 1,18 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
- $F_{17} = H_2 * 10,3 * 0,5 = -0,87 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
- $F_{18} = H_2 * 10,3 * 1 = -1,75 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
- $F_{19} = H_2 * 10,3 * 0,14 + F_2 * 0,86 * 0,8 + G_2 * 0,86 * 9,5 = -1,75 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
- $F_{20} = (F_2 * 0,8 + G_2 * 9,5) * 1 = -1,75 \text{ kN} \quad (\downarrow)$
- $F_{21} = (F_2 * 0,8 + G_2 * 9,5) * 0,5 = -0,87 \text{ kN} \quad (\downarrow)$

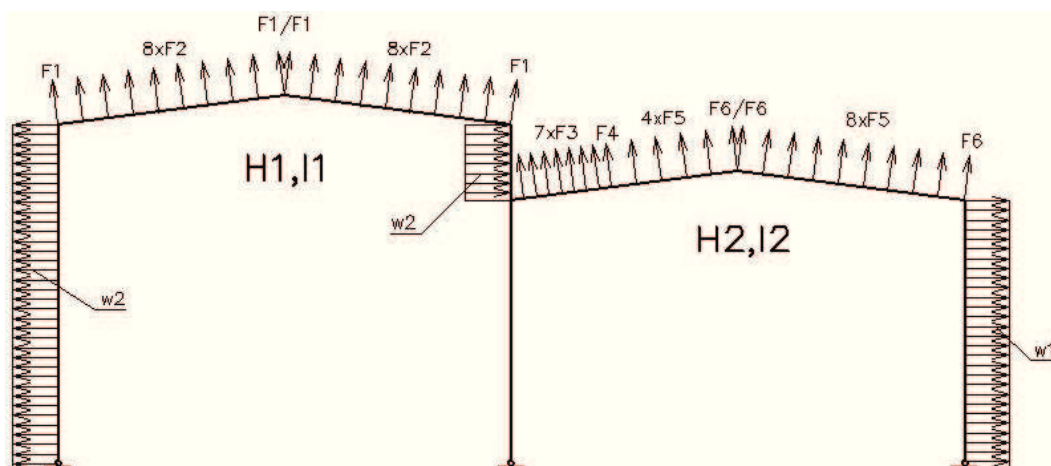
- Spojitá zatížení, vnitřní tlak +0,2:

- $w_1 = D_1 * 10,3 = 5,25 \text{ kN/m} \quad (\leftarrow)$
- $w_2 = D_2 * 10,3 = 5,87 \text{ kN/m} \quad (\leftarrow)$
- $w_3 = E * 10,3 = 0,22 \text{ kN/m} \quad (\leftarrow)$

### 7.3.1.9 Zatížení větrem – vítr podélný:



Obr. 104: Oblasti střešního pláště a stěny působící na rám při podélném větru.

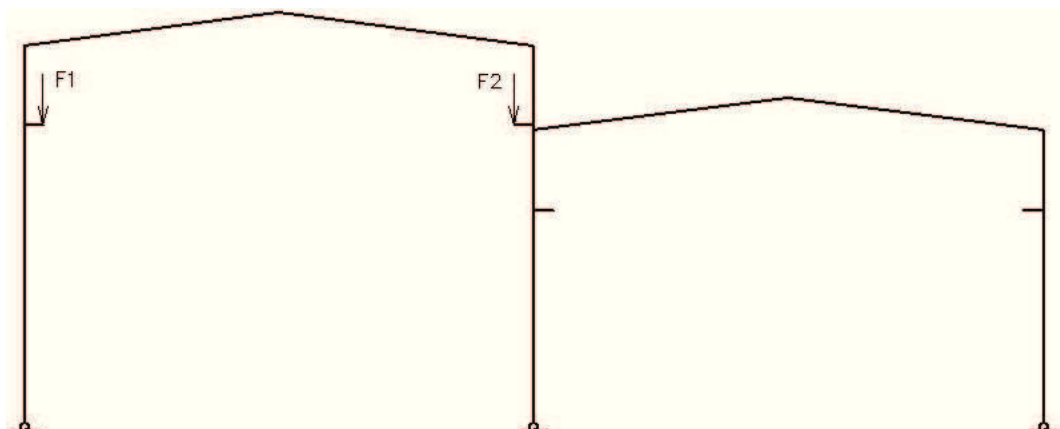


Obr. 105: Schéma rozložení zatížení.

- Osamělá břemena, vnitřní tlak +0,2:
  - $F_1 = (H_1 * 9,75 + I_1 * 0,55) * 0,5 = 2,52 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
  - $F_2 = (H_1 * 9,75 + I_1 * 0,55) * 1 = 5,04 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
  - $F_3 = (H_2 * 9,75 + I_2 * 0,55) * 0,5 = 2,25 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
  - $F_4 = (H_2 * 9,75 + I_2 * 0,55) * 0,75 = 3,37 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
  - $F_5 = (H_2 * 9,75 + I_2 * 0,55) * 1 = 4,50 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
  - $F_6 = (H_2 * 9,75 + I_2 * 0,55) * 0,5 = 2,25 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- Spojitá zatížení, vnitřní tlak +0,2:
  - $w_1 = B_2 * 10,3 = 5,15 \text{ kN/m} \quad (\rightarrow)$
  - $w_2 = B_1 * 10,3 = 5,76 \text{ kN/m} \quad (\leftarrow, \rightarrow)$
- Osamělá břemena, vnitřní tlak -0,3:
  - $F_1 = (H_1 * 9,75 + I_1 * 0,55) * 0,5 = 1,08 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
  - $F_2 = (H_1 * 9,75 + I_1 * 0,55) * 1 = 2,16 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
  - $F_3 = (H_2 * 9,75 + I_2 * 0,55) * 0,5 = 0,96 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
  - $F_4 = (H_2 * 9,75 + I_2 * 0,55) * 0,75 = 1,44 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
  - $F_5 = (H_2 * 9,75 + I_2 * 0,55) * 1 = 1,92 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
  - $F_6 = (H_2 * 9,75 + I_2 * 0,55) * 0,5 = 0,96 \text{ kN} \quad (\uparrow)$
- Spojitá zatížení, vnitřní tlak +0,2:
  - $w_1 = B_2 * 10,3 = 2,57 \text{ kN/m} \quad (\rightarrow)$
  - $w_2 = B_1 * 10,3 = 2,88 \text{ kN/m} \quad (\leftarrow, \rightarrow)$

#### 7.3.1.10 Svislé zatížení od jeřábu v části 1:

Síly působící na rám při zatížení od jeřábů jsou převzaty z výpočtu zatížení jeřábové dráhy. Síly jsou přizpůsobeny pro výpočetní program tak, že budou vynásobeny součinitelem nahodilých zatížení.

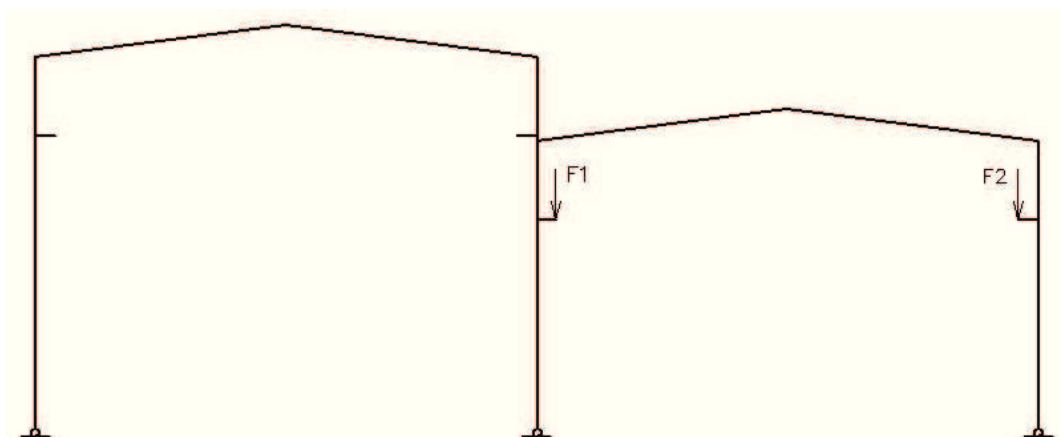


Obr. 106: Schéma rozložení zatížení.

- Postavení kočky v levé krajní pozici:
  - $F_1 = 192,79 \text{ kN}$
  - $F_2 = 72,70 \text{ kN}$
- Postavení kočky v pravé krajní pozici:
  - $F_1 = 72,70 \text{ kN}$
  - $F_2 = 192,79 \text{ kN}$

#### 7.3.1.11 Svislé zatížení od jeřábu v části 2:

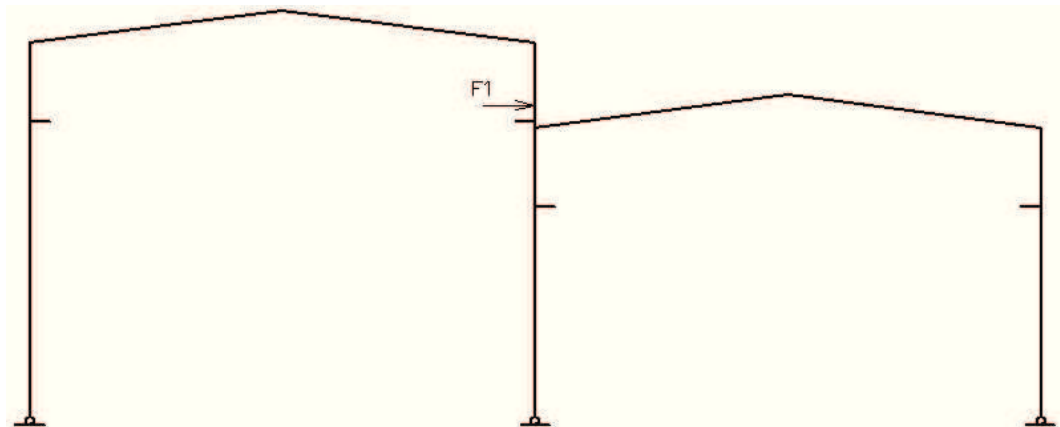
- Postavení kočky v levé krajní pozici:
  - $F_1 = 192,79 \text{ kN}$
  - $F_2 = 72,70 \text{ kN}$
- Postavení kočky v pravé krajní pozici:
  - $F_1 = 72,70 \text{ kN}$
  - $F_2 = 192,79 \text{ kN}$



Obr. 107: Schéma rozložení zatížení.

## 7.3.1.12 Vodorovné zatížení od jeřábu v části 1:

Vodorovné zatížení od jeřábu v části 1 se nebude kombinovat s ostatními zatíženími, pokud nedojde k postavení jeřábu v části jedna. Analogicky budou kombinace provedeny u vodorovného zatížení od jeřábu v části 2.

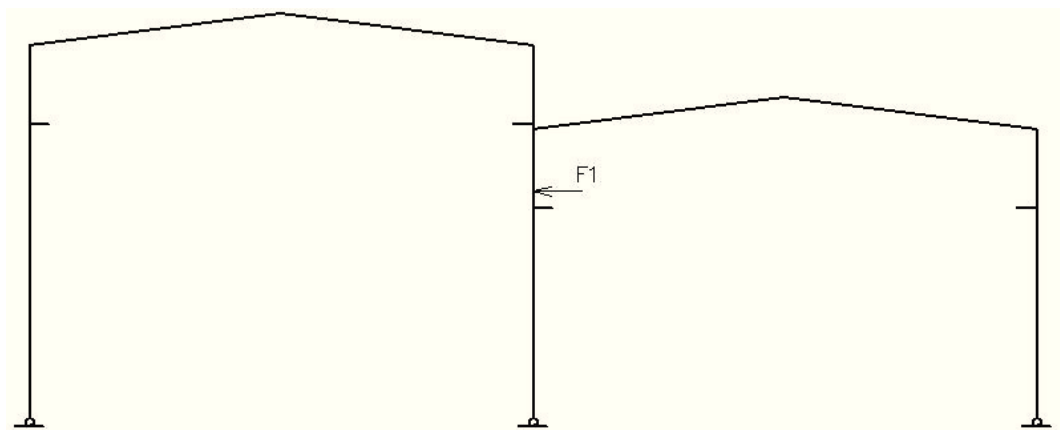


Obr. 108: Schéma rozložení zatížení.

- Zatěžovací stav 1:
  - $F_1 = 21,00 \text{ kN}$
- Zatěžovací stav 2:
  - $F_1 = -21,00 \text{ kN}$

## 7.3.1.13 Vodorovné zatížení od jeřábu v části 2:

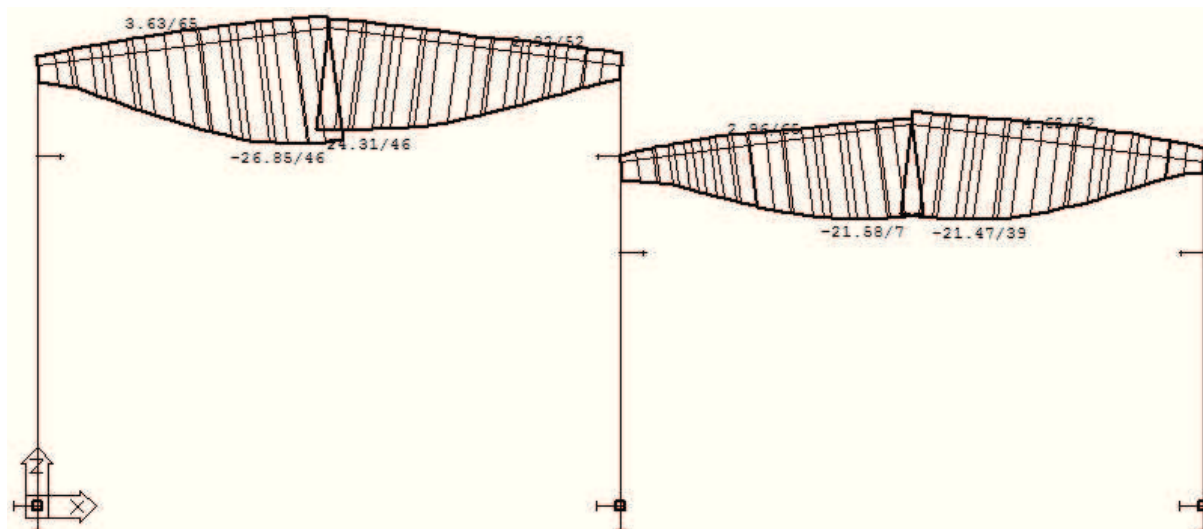
- Zatěžovací stav 1:
  - $F_1 = 21,00 \text{ kN}$
- Zatěžovací stav 2:
  - $F_1 = -21,00 \text{ kN}$



Obr. 109: Schéma rozložení zatížení.

### 7.3.2 Mezní stav použitelnosti

#### 7.3.2.1 Svislý průhyb příčlí:



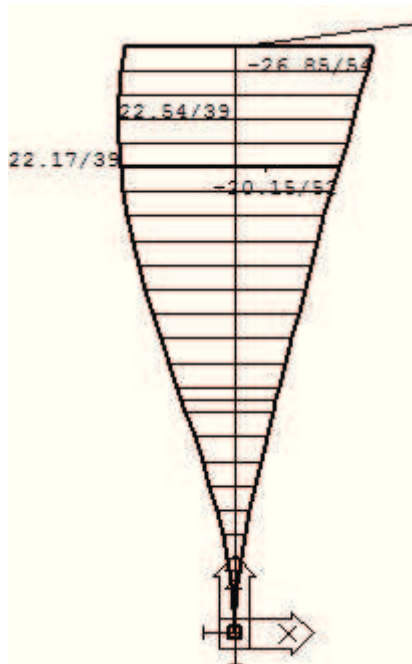
Obr. 110: Svislý průhyb příčlí.

- Rozhodující kombinace:
  - Stálé + Sníh celý + Jeřáb v části 1 (ZS2) + Jeřáb v části 2 (ZS 1) + Jeřáb v části 1 (vodorovné zatížení ZS1) + Jeřáb v části 2 (vodorovné zatížení ZS1)
- Posouzení:

$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{18000}{250} = 72 \text{ mm}$$

$$\delta_{max} = 26,85 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 72 \text{ mm} \dots \text{ VYHOVUJE}$$

#### 7.3.2.2 Vodorovný posun levého sloupu:



Obr. 111: Vodorovný posun levého sloupu.

- Rozhodující kombinace:

- Stálé + Sníh navátý 2 + Vítr příčný 2 (cpi -0,3) + Jeřáb v části 1 (ZS2) + Jeřáb v části 2 (ZS 1) + Jeřáb v části 1 (vodorovné zatížení ZS2)
- Stálé + Vítr příčný 1 (cpi -0,3) + Jeřáb v části 1 (ZS1) + Jeřáb v části 2 (ZS 1) + Jeřáb v části 1 (vodorovné zatížení ZS1) + Jeřáb v části 2 (vodorovné zatížení ZS1)

- Posouzení v místě uložení kolejnice jeřábové dráhy:

$$\delta_{lim} = \frac{H}{400} = \frac{11400}{400} = 28,5 \text{ mm}$$

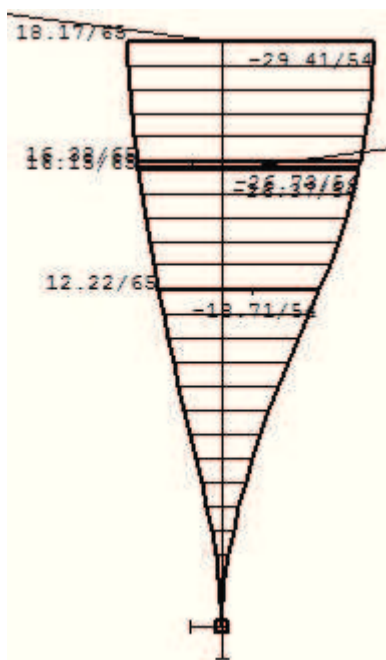
$$\delta_{max} = 22,17 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 28,5 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

- Posouzení maximálního průhybu:

$$\delta_{lim} = \frac{H}{150} = \frac{13600}{150} = 90,6 \text{ mm}$$

$$\delta_{max} = 26,85 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 90,6 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

### 7.3.2.3 Vodorovný posun středního sloupu:



Obr. 112: Vodorovný posun středního sloupu.

- Rozhodující kombinace:

- Stálé + Vítr příčný 1 (cpi -0,3) + Jeřáb v části 1 (ZS1) + Jeřáb v části 2 (ZS 1) + Jeřáb v části 1 (vodorovné zatížení ZS1) + Jeřáb v části 2 (vodorovné zatížení ZS1)

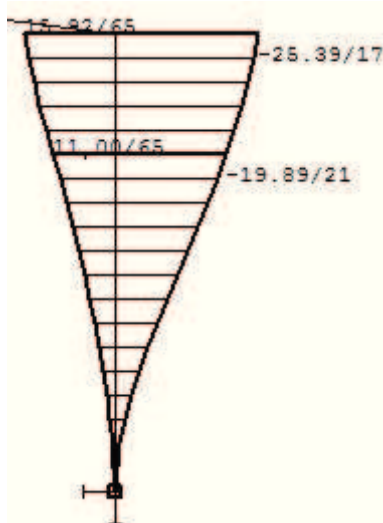
- Posouzení maximálního průhybu:

$$\delta_{lim} = \frac{H}{150} = \frac{13600}{150} = 90,6 \text{ mm}$$

$$\delta_{max} = 29,41 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 90,6 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$



#### 7.3.2.4 Vodorovný posun pravého sloupu:



Obr. 113: Vodorovný posun pravého sloupu.

- Rozhodující kombinace:
  - Stálé + Vítr příčný 1 (cpi -0,3) + Jeřáb v části 1 (ZS1) + Jeřáb v části 2 (ZS 1) + Jeřáb v části 1 (vodorovné zatížení ZS1) + Jeřáb v části 2 (vodorovné zatížení ZS1)

- Posouzení v místě uložení kolejnice jeřábové dráhy:

$$\delta_{lim} = \frac{H}{400} = \frac{8400}{400} = 21 \text{ mm}$$

$$\delta_{max} = 19,89 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 21 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

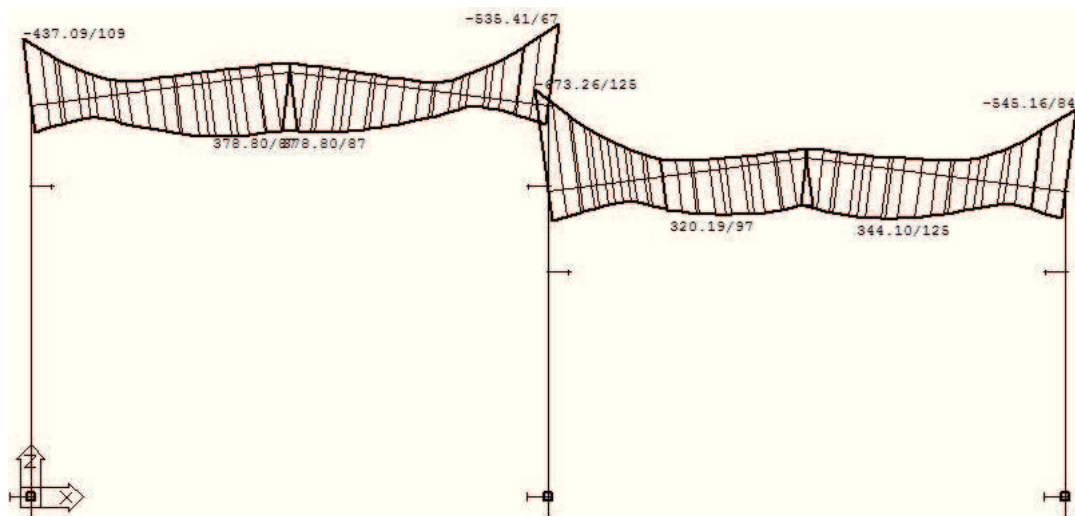
- Posouzení maximálního průhybu:

$$\delta_{lim} = \frac{H}{150} = \frac{10600}{150} = 70,6 \text{ mm}$$

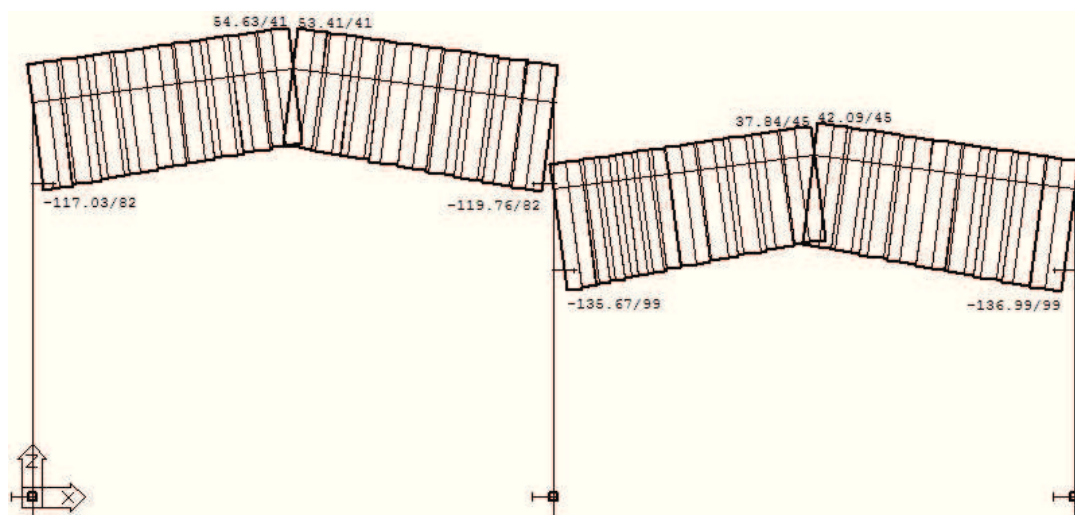
$$\delta_{max} = 25,39 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 70,6 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

### 7.3.3 Klasifikace rámu z hlediska posuvnosti styčníků

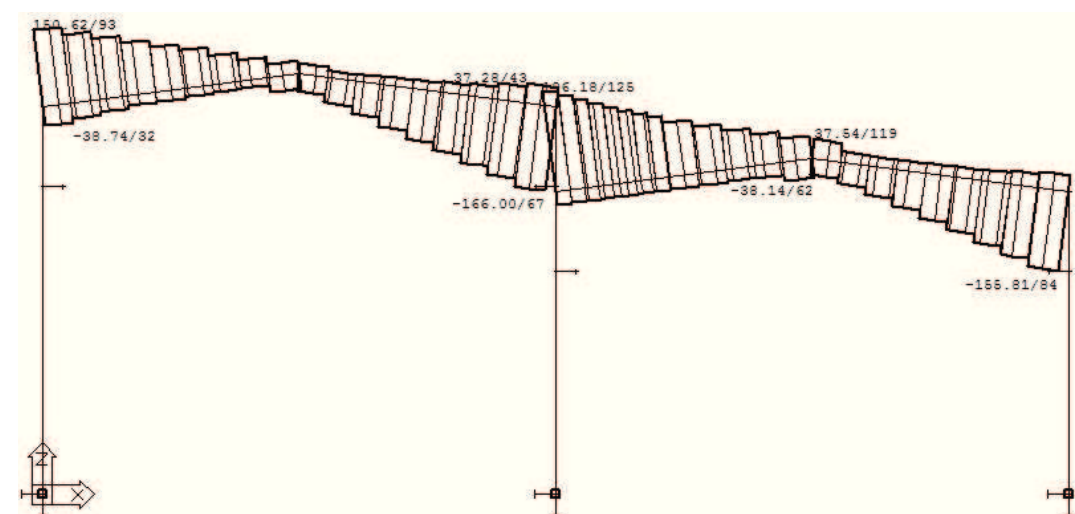
#### 7.3.3.1 Obalové křivky vnitřních sil na příčlích:



Obr. 114: Průběh ohybových momentů.

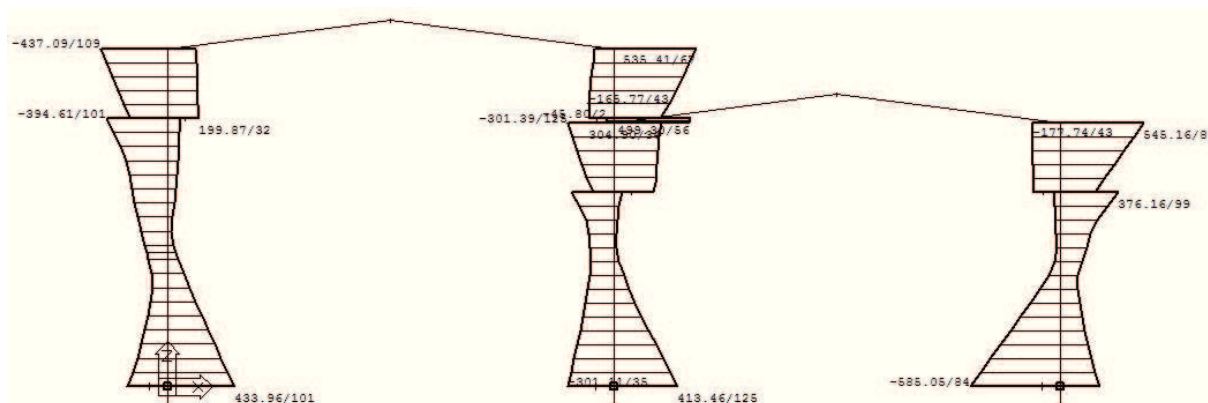


Obr. 115: Průběh normálových sil.

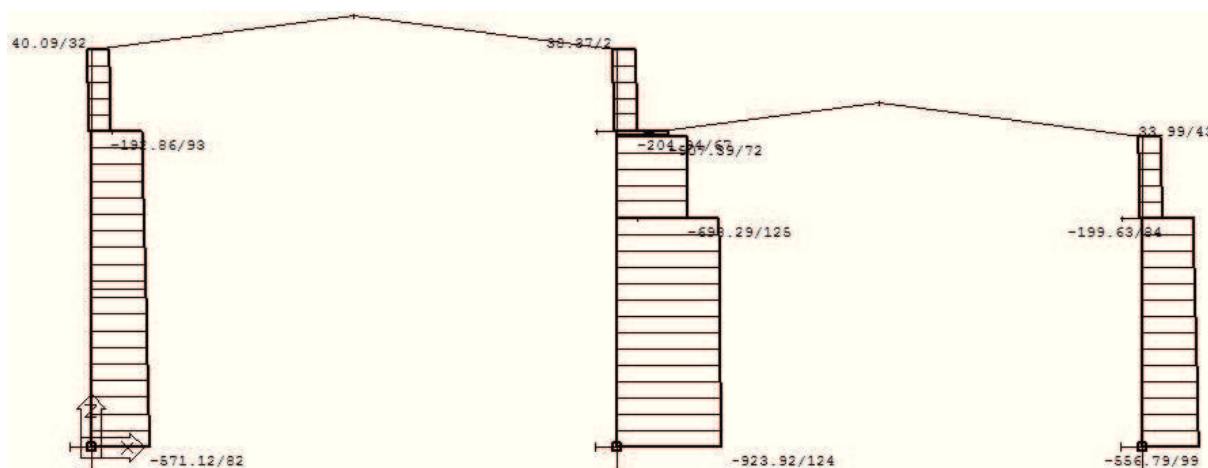


Obr. 116: Průběh posouvajících sil.

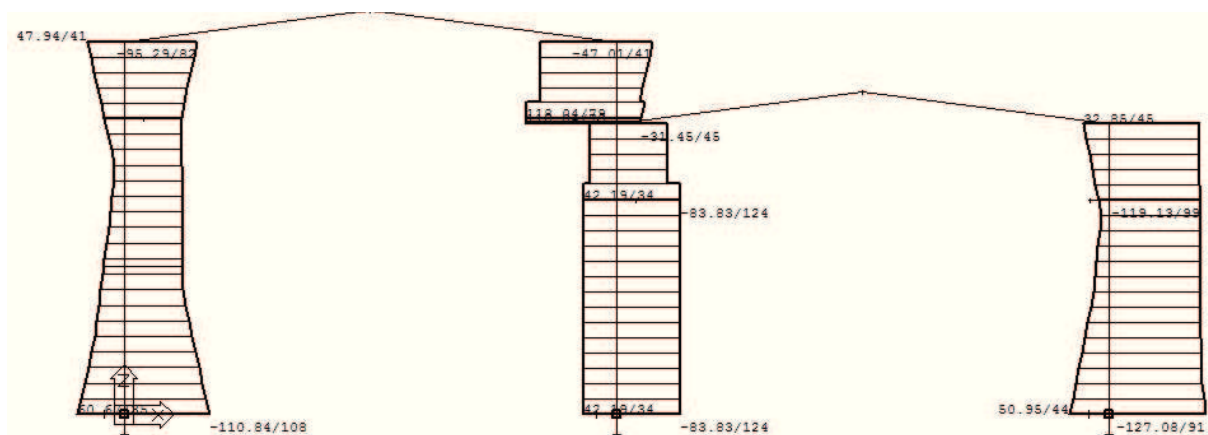
## 7.3.3.2 Obalové křivky vnitřních sil na sloupech:



Obr. 117: Průběh ohybových momentů.



Obr. 118: Průběh normálových sil.



Obr. 119: Průběh posouvajících sil.

## 7.3.3.3 Výpis nebezpečných kombinací pro posouzení příčlů a rámových rohů:

- KZS 125 (kombinace zatěžovacích stavů):
  - Stálé + Sníh navátý 2 + Vítr příčný 2 (cpi -0,3) + Jeřáb v části 1 (ZS2) + Jeřáb v části 2 (ZS2) + Jeřáb v části 1 (vodorovné ZS2) + Jeřáb v části 2 (vodorovné ZS2)
  - $M_{Ed} = 673,26 \text{ kNm}$ ,  $N_{Ed} = 91,42 \text{ kN}$ ,  $V_{Ed} = 196,18 \text{ kN}$
- KZS 99:
  - Stálé + Sníh navátý 1 + Vítr příčný 1 (cpi -0,3) + Jeřáb v části 1 (ZS1) + Jeřáb v části 2 (ZS2) + Jeřáb v části 1 (vodorovné ZS1) + Jeřáb v části 2 (vodorovné ZS1)
  - $M_{Ed} = 493,28 \text{ kNm}$ ,  $N_{Ed} = 136,99 \text{ kN}$ ,  $V_{Ed} = 150,24 \text{ kN}$

## 7.3.3.4 Výpis nebezpečných kombinací pro posouzení sloupů a patek:

- KZS 84:
  - Stálé + Sníh navátý 1 + Vítr příčný 1 (cpi -0,3) + Jeřáb v části 1 (ZS1) + Jeřáb v části 2 (ZS1) + Jeřáb v části 1 (vodorovné ZS1) + Jeřáb v části 2 (vodorovné ZS1)
  - $M_{Ed} = 585,05 \text{ kNm}$ ,  $N_{Ed} = 399,81 \text{ kN}$ ,  $V_{Ed} = 117,8 \text{ kN}$
- KZS 124:
  - Stálé + Sníh navátý 2 + Vítr příčný 2 (cpi -0,3) + Jeřáb v části 1 (ZS2) + Jeřáb v části 2 (ZS1) + Jeřáb v části 1 (vodorovné ZS2) + Jeřáb v části 2 (vodorovné ZS2)
  - $M_{Ed} = 380,67 \text{ kNm}$ ,  $N_{Ed} = 923,92 \text{ kN}$ ,  $V_{Ed} = 83,83 \text{ kN}$
- KZS 91:
  - Stálé + Sníh navátý 1 + Vítr příčný 1 (cpi +0,2) + Jeřáb v části 1 (ZS1) + Jeřáb v části 2 (ZS2) + Jeřáb v části 1 (vodorovné ZS1) + Jeřáb v části 2 (vodorovné ZS1)
  - $M_{Ed} = 525,27 \text{ kNm}$ ,  $N_{Ed} = 512,8 \text{ kN}$ ,  $V_{Ed} = 127,08 \text{ kN}$

## 7.3.3.5 Klasifikace rámu pro KZS 125:

$$\alpha_{cr} = \frac{H_{Ed,1}}{V_{Ed,1}} * \frac{h_1}{\delta_{H,Ed,1}} + \frac{H_{Ed,2}}{V_{Ed,2}} * \frac{h_2}{\delta_{H,Ed,2}} + \frac{H_{Ed,3}}{V_{Ed,3}} * \frac{h_3}{\delta_{H,Ed,3}}$$
$$\alpha_{cr} = \frac{66,32}{366,48} * \frac{13,6}{30,09 * 10^{-3}} + \frac{82,93}{864,66} * \frac{13,6}{25,63 * 10^{-3}} + \frac{11,27}{526,1} * \frac{10,6}{17,13 * 10^{-3}} = 145,9$$

$$\alpha_{cr} = 145,9 \geq 10 \dots \text{Neposuvná soustava}$$

## 7.3.3.6 Klasifikace rámu pro KZS 99:

$$\alpha_{cr} = \frac{H_{Ed,1}}{V_{Ed,1}} * \frac{h_1}{\delta_{H,Ed,1}} + \frac{H_{Ed,2}}{V_{Ed,2}} * \frac{h_2}{\delta_{H,Ed,2}} + \frac{H_{Ed,3}}{V_{Ed,3}} * \frac{h_3}{\delta_{H,Ed,3}}$$

$$\alpha_{cr} = \frac{36,18}{505,75} * \frac{13,6}{21,17 * 10^{-3}} + \frac{20,10}{665,58} * \frac{13,6}{26,07 * 10^{-3}} + \frac{121,45}{556,79} * \frac{10,6}{26,97 * 10^{-3}} = 148,01$$

$$\alpha_{cr} = 148,01 \geq 10 \dots \text{Neposuvná soustava}$$

7.3.3.7 Klasifikace rámu pro KZS 84:

$$\alpha_{cr} = \frac{H_{Ed,1}}{V_{Ed,1}} * \frac{h_1}{\delta_{H,Ed,1}} + \frac{H_{Ed,2}}{V_{Ed,2}} * \frac{h_2}{\delta_{H,Ed,2}} + \frac{H_{Ed,3}}{V_{Ed,3}} * \frac{h_3}{\delta_{H,Ed,3}}$$
$$\alpha_{cr} = \frac{40,73}{548,48} * \frac{13,6}{25,99 * 10^{-3}} + \frac{19,20}{824,83} * \frac{13,6}{31,08 * 10^{-3}} + \frac{117,80}{399,81} * \frac{10,6}{31,57 * 10^{-3}} = 148,16$$

$$\alpha_{cr} = 148,16 \geq 10 \dots \text{Neposuvná soustava}$$

7.3.3.8 Klasifikace rámu pro KZS 124:

$$\alpha_{cr} = \frac{H_{Ed,1}}{V_{Ed,1}} * \frac{h_1}{\delta_{H,Ed,1}} + \frac{H_{Ed,2}}{V_{Ed,2}} * \frac{h_2}{\delta_{H,Ed,2}} + \frac{H_{Ed,3}}{V_{Ed,3}} * \frac{h_3}{\delta_{H,Ed,3}}$$
$$\alpha_{cr} = \frac{61,77}{364,21} * \frac{13,6}{25,26 * 10^{-3}} + \frac{83,83}{1023,92} * \frac{13,6}{20,62 * 10^{-3}} + \frac{14,92}{369,11} * \frac{10,6}{12,53 * 10^{-3}} = 179,5$$

$$\alpha_{cr} = 179,5 \geq 10 \dots \text{Neposuvná soustava}$$

7.3.3.9 Klasifikace rámu pro KZS 91:

$$\alpha_{cr} = \frac{H_{Ed,1}}{V_{Ed,1}} * \frac{h_1}{\delta_{H,Ed,1}} + \frac{H_{Ed,2}}{V_{Ed,2}} * \frac{h_2}{\delta_{H,Ed,2}} + \frac{H_{Ed,3}}{V_{Ed,3}} * \frac{h_3}{\delta_{H,Ed,3}}$$
$$\alpha_{cr} = \frac{18,56}{464,84} * \frac{13,6}{20,17 * 10^{-3}} + \frac{22,72}{551,10} * \frac{13,6}{23,14 * 10^{-3}} + \frac{127,08}{512,80} * \frac{10,6}{23,41 * 10^{-3}} = 163,36$$

$$\alpha_{cr} = 163,36 \geq 10 \dots \text{Neposuvná soustava}$$

## 7.3.4 Posouzení příčle – KZS 125

7.3.4.1 Průřezové charakteristiky (HEB 550):

$$A = 2,54 * 10^{-2} m^2$$

$$A_{v,z} = 8,25 * 10^{-3} m^2$$

$$I_y = 1,367 * 10^{-3} m^4$$

$$i_y = 0,232 m$$

$$I_z = 1,308 * 10^{-4} m^4$$

$$i_z = 0,072 m$$

$$I_t = 6 * 10^{-6} m^4$$

$$I_w = 8,92 * 10^{-6} m^6$$

$$W_{pl,y} = 5,59 * 10^{-3} m^3$$

$$W_{el,y} = 4,97 * 10^{-3} m^3$$

## 7.3.4.2 Zatřídění průřezu:

Příčel namáhaná tlakem a ohybem.

$$z = \frac{N_{Ed}}{t_w * f_{yd}} = \frac{91,42 * 10^3}{0,015 * 235 * 10^6} = 25,9 \text{ mm}$$

$$d = 550 - 2 * 29 - 2 * 27 = 438 \text{ mm}$$

$$\alpha d = \frac{d + z}{2} = \frac{438 + 25,9}{2} = 231,95 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\alpha d}{d} = \frac{231,95}{438} = 0,52$$

$$\text{Stojina: } \frac{d}{t_w} = \frac{438}{15} = 29,2 \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 * 1}{13 * 0,52 - 1} = 68,75 \dots \text{třída 1}$$

$$\text{Pásnice: } \frac{c}{t_f} = \frac{150}{29} = 5,17 \leq 10\varepsilon = 10 * 1 = 10 \dots \text{třída 1}$$

## 7.3.4.3 Vliv smyku na ohybovou únosnost:

Smyková únosnost nosníku:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{8,25 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1 * \sqrt{3}} = 1119,3 \text{ kN}$$

Ověření vlivu smykového boulení:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{0,55}{0,015} = 37 \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 * \frac{1}{1} = 72 \dots \text{Kompaktní stojina.}$$

$$V_{z,Ed} = 196,18 \text{ kN} \leq \frac{1}{2} * V_{pl,Rd} = \frac{1}{2} * 1119,3 = 559,65 \text{ kN}$$

**Vliv smykového boulení lze zanedbat.**

Vliv smyku při působení ohybu a osově síly:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{196,18}{1119,3} = 0,18 \leq 0,5 \dots \text{Vliv smyku lze zanedbat}$$

## 7.3.4.4 Určení součinitelů vzpěru:

Vzpěrné délky:

$$L_{cr,y} = 9 \text{ m (polovina rozpětí portálového rámu)}$$

$$L_{cr,z} = 1 \text{ m (zajištění stability proti vybočení střešními vaznicemi)}$$

Štíhlosti při vybočení v hlavních rovinách:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{9}{0,232} = 38,79$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{1}{0,072} = 13,89$$

Poměrná štíhlost a součinitelé vzpěrnosti:

$$\lambda_1 = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 * 1 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{38,79}{93,9} = 0,41 \quad \text{křivka a} \quad \chi_y = 0,922 \dots \text{Rozhoduje}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{13,82}{93,9} = 0,15 < 0,2 \dots \text{účinky vzpěru lze zanedbat}$$

7.3.4.5 Ztráta stability bez vlivu klopení – rámový roh:

$$M_Q = 9,86 + 180,23 = 190,09 \text{ kNm}$$

$$\Delta M = 313,34 + 673,26 = 986,6 \text{ kNm}$$

$$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7 \left( -\frac{313,34}{673,26} \right) = 2,12$$

$$\beta_{M,Q} = 1,5$$

$$\beta_{My} = 2,12 + \frac{190,09}{986,6} (1,5 - 2,12) = 2,00$$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y (2\beta_{My} - 4) + \frac{W_{pl,y} - W_{el,y}}{W_{el,y}} = 0,41(2 \cdot 2 - 4) + \frac{5,59 \cdot 10^{-3} - 4,97 \cdot 10^{-3}}{4,97 \cdot 10^{-3}} = 0,125$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{Ed}}{\chi_y A f_y} = 1 - \frac{0,125 \cdot 91,42 \cdot 10^3}{0,922 \cdot 2,54 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6} = 0,998$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{min} A f_y} + \frac{k_y M_{Ed}}{W_{pl,y} f_y} = \frac{91,42 \cdot 10^3}{0,922 \cdot 2,54 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6} + \frac{0,998 \cdot 673,26 \cdot 10^3}{5,59 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6} = 0,528 \leq 1$$

**VYHOVUJE**

7.3.4.6 Ztráta stability s vlivem klopení – rámový roh:

$$L_0 = 4,4 \text{ m}$$

$$L = 1,1 \cdot 4,4 = 4,84 \text{ m}$$

$$C_1 = 1,0$$

$$k_z = 1$$

$$k_w = 1$$

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(k_z L)^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} \left( \frac{k_z}{k_w} \right)^2 + \frac{(k_z L)^2 G I_t}{\pi^2 E I_z}}$$

$$M_{cr} = 1 \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,308 \cdot 10^{-4}}{(1 \cdot 4,84)^2} \sqrt{\frac{8,92 \cdot 10^{-6}}{1,308 \cdot 10^{-4}} \left( \frac{1}{1} \right)^2 + \frac{(1 \cdot 4,84)^2 \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,308 \cdot 10^{-4}}}$$

$$M_{cr} = 384,16 \cdot 10^4 \text{ Nm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_w W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1 \cdot 5,59 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{384,16 \cdot 10^4}} = 0,58 \Rightarrow \chi_{LT} = 0,847$$

$$\beta_{M,LT} = 1,8$$

$$\mu_{LT} = 0,15 \bar{\lambda}_z \beta_{M,LT} - 0,15 = 0,15 \cdot 0,15 \cdot 1,8 - 0,15 = -0,11$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} N_{Ed}}{\chi_z A f_y} = 1 - \frac{-0,11 \cdot 91,42 \cdot 10^3}{1 \cdot 2,54 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6} = 1,00$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z A f_y} + \frac{k_{LT} M_{Ed}}{\chi_{LT} W_{pl,y} f_y} = \frac{91,42 \cdot 10^3}{1 \cdot 2,54 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6} + \frac{1 \cdot 673,26 \cdot 10^3}{0,847 \cdot 5,59 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6} = 0,62$$



$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z A f_y} + \frac{k_{LT} M_{Ed}}{\chi_{LT} W_{pl,y} f_y} = 0,62 \leq 1 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

#### 7.3.4.7 Posouzení příčle v poli:

Posouzení v poli není potřeba provádět, protože délka úseku, ve kterém může dojít ke klopení tlačené horní pásnice je menší, než u dolní pásnice v rámovém rohu. Ohybový moment a osová síla v prutu jsou rovněž menší. Při posouzení stability bez vlivu klopení rozhodují rovněž vnitřní síly u rámového rohu.

### 7.3.5 Posouzení příčle – KZS 99

#### 7.3.5.1 Zatřídění průřezu:

Příčel namáhaná tlakem a ohybem.

$$z = \frac{N_{Ed}}{t_w * f_{yd}} = \frac{136,99 * 10^3}{0,015 * 235 * 10^6} = 38,8 \text{ mm}$$

$$d = 550 - 2 * 29 - 2 * 27 = 438 \text{ mm}$$

$$\alpha d = \frac{d + z}{2} = \frac{438 + 38,8}{2} = 238,4 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\alpha d}{d} = \frac{238,4}{438} = 0,54$$

$$\text{Stojina: } \frac{d}{t_w} = \frac{438}{15} = 29,2 \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 * 1}{13 * 0,54 - 1} = 65,7 \dots \text{třída 1}$$

$$\text{Pásnice: } \frac{c}{t_f} = \frac{150}{29} = 5,17 \leq 10\varepsilon = 10 * 1 = 10 \dots \text{třída 1}$$

#### 7.3.5.2 Vliv smyku na ohybovou únosnost:

Smyková únosnost nosníku:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{8,25 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1 * \sqrt{3}} = 1119,3 \text{ kN}$$

Ověření vlivu smykového boulení:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{0,55}{0,015} = 37 \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 * \frac{1}{1} = 72 \dots \text{Kompaktní stojina.}$$

$$V_{z,Ed} = 150,24 \text{ kN} \leq \frac{1}{2} * V_{pl,Rd} = \frac{1}{2} * 1119,3 = 559,65 \text{ kN}$$

**Vliv smykového boulení lze zanedbat.**

Vliv smyku při působení ohybu a osově síly:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{150,24}{1119,3} = 0,13 \leq 0,5 \dots \textbf{Vliv smyku lze zanedbat}$$

#### 7.3.5.3 Ztráta stability bez vlivu klopení – rámový roh:

$$M_Q = 57,2 + 110,43 = 167,63 \text{ kNm}$$

$$\Delta M = 272,43 + 493,28 = 765,71 \text{ kNm}$$

$$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7 \left( -\frac{272,43}{493,28} \right) = 2,18$$

$$\beta_{M,Q} = 1,5$$

$$\beta_{My} = 2,18 + \frac{167,63}{765,71} (1,5 - 2,18) = 2,03$$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y (2\beta_{My} - 4) + \frac{W_{pl,y} - W_{el,y}}{W_{el,y}} = 0,41 (2 * 2,03 - 4) + \frac{5,59 * 10^{-3} - 4,97 * 10^{-3}}{4,97 * 10^{-3}} = 0,149$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{Ed}}{\chi_y A f_y} = 1 - \frac{0,149 * 136,99 * 10^3}{0,922 * 2,54 * 10^{-2} * 235 * 10^6} = 0,996$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{min} A f_y} + \frac{k_y M_{Ed}}{W_{pl,y} f_y} = \frac{136,99 * 10^3}{0,922 * 2,54 * 10^{-2} * 235 * 10^6} + \frac{0,996 * 493,28 * 10^3}{5,59 * 10^{-3} * 235 * 10^6} = 0,399 \leq 1$$

**VYHOVUJE**

#### 7.3.5.4 Ztráta stability s vlivem klopení – rámový roh:

$$L_0 = 3,7 \text{ m}$$

$$L = 1,1 * 3,7 = 4,07 \text{ m}$$

$$C_1 = 1,0$$

$$k_z = 1$$

$$k_w = 1$$

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(k_z L)^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} \left( \frac{k_z}{k_w} \right)^2 + \frac{(k_z L)^2 G I_t}{\pi^2 E I_z}}$$

$$M_{cr} = 1 \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 * 1,308 * 10^{-4}}{(1 * 4,07)^2} \sqrt{\frac{8,92 * 10^{-6}}{1,308 * 10^{-4}} \left( \frac{1}{1} \right)^2 + \frac{(1 * 4,07)^2 * 81 * 10^9 * 6 * 10^{-6}}{\pi^2 * 210 * 10^9 * 1,308 * 10^{-4}}}$$

$$M_{cr} = 512,04 * 10^4 \text{ Nm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_w W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1 * 5,59 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{512,04 * 10^4}} = 0,51 \Rightarrow \chi_{LT} = 0,880$$

$$\beta_{M,LT} = 1,8$$

$$\mu_{LT} = 0,15 \bar{\lambda}_z \beta_{M,LT} - 0,15 = 0,15 * 0,15 * 1,8 - 0,15 = -0,11$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} N_{Ed}}{\chi_z A f_y} = 1 - \frac{-0,11 * 136,99 * 10^3}{1 * 2,54 * 10^{-2} * 235 * 10^6} = 1,00$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z A f_y} + \frac{k_{LT} M_{Ed}}{\chi_{LT} W_{pl,y} f_y} = \frac{136,99 * 10^3}{1 * 2,54 * 10^{-2} * 235 * 10^6} + \frac{1 * 493,28 * 10^3}{0,880 * 5,59 * 10^{-3} * 235 * 10^6} = 0,45$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z A f_y} + \frac{k_{LT} M_{Ed}}{\chi_{LT} W_{pl,y} f_y} = 0,45 \leq 1 \dots \text{VYHOVUJE}$$

#### 7.3.5.5 Posouzení příčle v poli:

Posouzení v poli není potřeba provádět, protože délka úseku, ve kterém může dojít ke klopení tlačené horní pásnice je menší, než u dolní pásnice v rámovém rohu. Ohybový

moment a osová síla v prutu jsou rovněž menší. Při posouzení stability bez vlivu klopení rozhodují rovněž vnitřní síly u rámového rohu.

### 7.3.6 Posouzení sloupu – KZS 84

#### 7.3.6.1 Průřezové charakteristiky (HEB 500):

$$\begin{aligned}A &= 2,39 * 10^{-2} \text{ m}^2 \\A_{v,z} &= 7,25 * 10^{-3} \text{ m}^2 \\I_y &= 1,072 * 10^{-3} \text{ m}^4 \\i_y &= 0,212 \text{ m} \\I_z &= 1,262 * 10^{-4} \text{ m}^4 \\i_z &= 0,072 \text{ m} \\I_t &= 5,39 * 10^{-6} \text{ m}^4 \\I_w &= 7,07 * 10^{-6} \text{ m}^6 \\W_{pl,y} &= 4,81 * 10^{-3} \text{ m}^3 \\W_{el,y} &= 4,29 * 10^{-3} \text{ m}^3\end{aligned}$$

#### 7.3.6.2 Zatřídění průřezu:

Sloup namáhaný tlakem a ohybem.

$$\begin{aligned}z &= \frac{N_{Ed}}{t_w * f_{yd}} = \frac{399,81 * 10^3}{0,0145 * 235 * 10^6} = 117 \text{ mm} \\d &= 500 - 2 * 28 - 2 * 27 = 390 \text{ mm} \\\alpha d &= \frac{d + z}{2} = \frac{390 + 117}{2} = 253,5 \text{ mm} \\\alpha &= \frac{\alpha d}{d} = \frac{253,5}{390} = 0,65\end{aligned}$$

$$\text{Stojina: } \frac{d}{t_w} = \frac{390}{14,5} = 26,89 \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 * 1}{13 * 0,65 - 1} = 53,15 \quad \dots \quad \text{třída 1}$$

$$\text{Pásnice: } \frac{c}{t_f} = \frac{150}{28} = 5,35 \leq 10\varepsilon = 10 * 1 = 10 \quad \dots \quad \text{třída 1}$$

#### 7.3.6.3 Vliv smyku na ohybovou únosnost:

Smyková únosnost nosníku:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{7,25 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1 * \sqrt{3}} = 983,66 \text{ kN}$$

Ověření vlivu smykového boulení:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{0,50}{0,0145} = 34,48 \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 * \frac{1}{1} = 72 \quad \dots \quad \text{Kompaktní stojina.}$$

$$V_{z,Ed} = 117,8 \text{ kN} \leq \frac{1}{2} * V_{pl,Rd} = \frac{1}{2} * 983,66 = 491,83 \text{ kN}$$

**Vliv smykového boulení lze zanedbat.**

Vliv smyku při působení ohybu a osové síly:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{117,8}{983,66} = 0,12 \leq 0,5 \quad \dots \text{Vliv smyku lze zanedbat}$$

#### 7.3.6.4 Určení součinitelů vzpěru:

Vzpěrné délky:

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 10,6 \text{ m (bezpečně lze uvažovat systémovou délku)}$$

Štíhlosti při vybočení v hlavních rovinách:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{10,6}{0,212} = 50,00$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{10,6}{0,072} = 147,22$$

Poměrná štíhlost a součinitelé vzpěrnosti:

$$\lambda_1 = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 * 1 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{50}{93,9} = 0,53 \quad \text{křivka a} \quad \chi_y = 0,915$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{147,22}{93,9} = 1,57 \quad \text{křivka b} \quad \chi_z = 0,318 \quad \dots \text{Rozhoduje}$$

#### 7.3.6.5 Posouzení na ohyb a osovou sílu:

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,81 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1} = 1130,35 \text{ kNm}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,39 * 10^{-2} * 235 * 10^6}{1} = 5616,5 \text{ kN}$$

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \left[ 1 - \left( \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \right)^2 \right] = 1130,35 \left[ 1 - \left( \frac{399,81}{5616,5} \right)^2 \right] = 1124,6 \text{ kNm}$$

$$M_{N,Rd} = 1124,6 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 585,05 \text{ kNm} \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$

#### 7.3.6.6 Ztráta stability s vlivem klopení:

$$L = 10,8 \text{ m}$$

$$C_1 = 2,59$$

$$k_z = 0,7$$

$$k_w = 1$$

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(k_z L)^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} \left( \frac{k_z}{k_w} \right)^2 + \frac{(k_z L)^2 G I_t}{\pi^2 E I_z}}$$

$$M_{cr} = 2,59 \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 * 1,262 * 10^{-4}}{(0,7 * 10,8)^2} \sqrt{\frac{7,07 * 10^{-6}}{1,262 * 10^{-4}} \left( \frac{0,7}{1} \right)^2 + \frac{(0,7 * 10,8)^2 * 81 * 10^9 * 5,39 * 10^{-6}}{\pi^2 * 210 * 10^9 * 1,262 * 10^{-4}}}$$

$$M_{cr} = 415,45 * 10^4 \text{ Nm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_W W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1 * 4,81 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{415,45 * 10^4}} = 0,52 \Rightarrow \chi_{LT} = 0,875$$

$$\beta_{M,LT} = 1,8$$

$$\mu_{LT} = 0,15 \bar{\lambda}_z \beta_{M,LT} - 0,15 = 0,15 * 1,57 * 1,8 - 0,15 = 0,274$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} N_{Ed}}{\chi_z A f_y} = 1 - \frac{0,274 * 399,81 * 10^3}{0,318 * 2,39 * 10^{-2} * 235 * 10^6} = 0,99 \Rightarrow k_{LT} = 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z A f_y} + \frac{k_{LT} M_{Ed}}{\chi_{LT} W_{pl,y} f_y} = \frac{399,81 * 10^3}{0,318 * 2,39 * 10^{-2} * 235 * 10^6} + \frac{1 * 585,05 * 10^3}{0,875 * 4,81 * 10^{-3} * 235 * 10^6} = 0,81$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z A f_y} + \frac{k_{LT} M_{Ed}}{\chi_{LT} W_{pl,y} f_y} = 0,81 \leq 1 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

### 7.3.7 Posouzení sloupu – KZS 124

#### 7.3.7.1 Zatřídění průřezu:

Sloup namáhaný tlakem a ohybem.

$$z = \frac{N_{Ed}}{t_w * f_{yd}} = \frac{1023,92 * 10^3}{0,0145 * 235 * 10^6} = 0,34 \text{ mm}$$

$$d = 500 - 2 * 28 - 2 * 27 = 390 \text{ mm}$$

$$\alpha d = \frac{d + z}{2} = \frac{390 + 0,34}{2} = 195,17 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\alpha d}{d} = \frac{195,17}{390} = 0,50$$

$$\text{Stojina: } \frac{d}{t_w} = \frac{390}{14,5} = 26,89 \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 * 1}{13 * 0,50 - 1} = 72 \dots \text{třída 1}$$

$$\text{Pásnice: } \frac{c}{t_f} = \frac{150}{28} = 5,35 \leq 10\varepsilon = 10 * 1 = 10 \dots \text{třída 1}$$

#### 7.3.7.2 Vliv smyku na ohybovou únosnost:

Smyková únosnost nosníku:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{7,25 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1 * \sqrt{3}} = 983,66 \text{ kN}$$

Ověření vlivu smykového boulení:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{0,50}{0,0145} = 34,48 \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 * \frac{1}{1} = 72 \dots \text{Kompaktní stojina.}$$

$$V_{z,Ed} = 83,83 \text{ kN} \leq \frac{1}{2} * V_{pl,Rd} = \frac{1}{2} * 983,66 = 491,83 \text{ kN}$$

**Vliv smykového boulení lze zanedbat.**

Vliv smyku při působení ohybu a osově síly:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{83,83}{983,66} = 0,09 \leq 0,5 \dots \textbf{Vliv smyku lze zanedbat}$$

## 7.3.7.3 Určení součinitelů vzpěru:

Vzpěrné délky:

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 13,6 \text{ m (bezpečně lze uvažovat systémovou délku)}$$

Štíhlosti při vybočení v hlavních rovinách:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{13,6}{0,212} = 60,37$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{13,6}{0,072} = 177,7$$

Poměrná štíhlost a součinitelé vzpěrnosti:

$$\lambda_1 = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 * 1 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{60,37}{93,9} = 0,64 \quad \text{křivka a} \quad \chi_y = 0,874$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{177,7}{93,9} = 1,89 \quad \text{křivka b} \quad \chi_z = 0,231 \quad \dots \text{ Rozhoduje}$$

## 7.3.7.4 Posouzení na ohyb a osovou sílu:

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,81 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1} = 1130,35 \text{ kNm}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,39 * 10^{-2} * 235 * 10^6}{1} = 5616,5 \text{ kN}$$

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \left[ 1 - \left( \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \right)^2 \right] = 1130,35 \left[ 1 - \left( \frac{923,92}{5616,5} \right)^2 \right] = 1099,76 \text{ kNm}$$

$$M_{N,Rd} = 1099,76 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 380,67 \text{ kNm} \quad \dots \text{ **VYHOVUJE**}$$

## 7.3.7.5 Ztráta stability s vlivem klopení:

$$L = 13,6 \text{ m}$$

$$C_1 = 2,59$$

$$k_z = 0,7$$

$$k_w = 1$$

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(k_z L)^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} \left( \frac{k_z}{k_w} \right)^2 + \frac{(k_z L)^2 G I_t}{\pi^2 E I_z}}$$

$$M_{cr} = 2,59 \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 * 1,262 * 10^{-4}}{(0,7 * 13,6)^2} \sqrt{\frac{7,07 * 10^{-6}}{1,262 * 10^{-4}} \left( \frac{0,7}{1} \right)^2 + \frac{(0,7 * 13,6)^2 * 81 * 10^9 * 5,39 * 10^{-6}}{\pi^2 * 210 * 10^9 * 1,262 * 10^{-4}}}$$

$$M_{cr} = 316,09 * 10^4 \text{ Nm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_w W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1 * 4,81 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{316,09 * 10^4}} = 0,52 \Rightarrow \chi_{LT} = 0,875$$

$$\beta_{M,LT} = 1,8$$

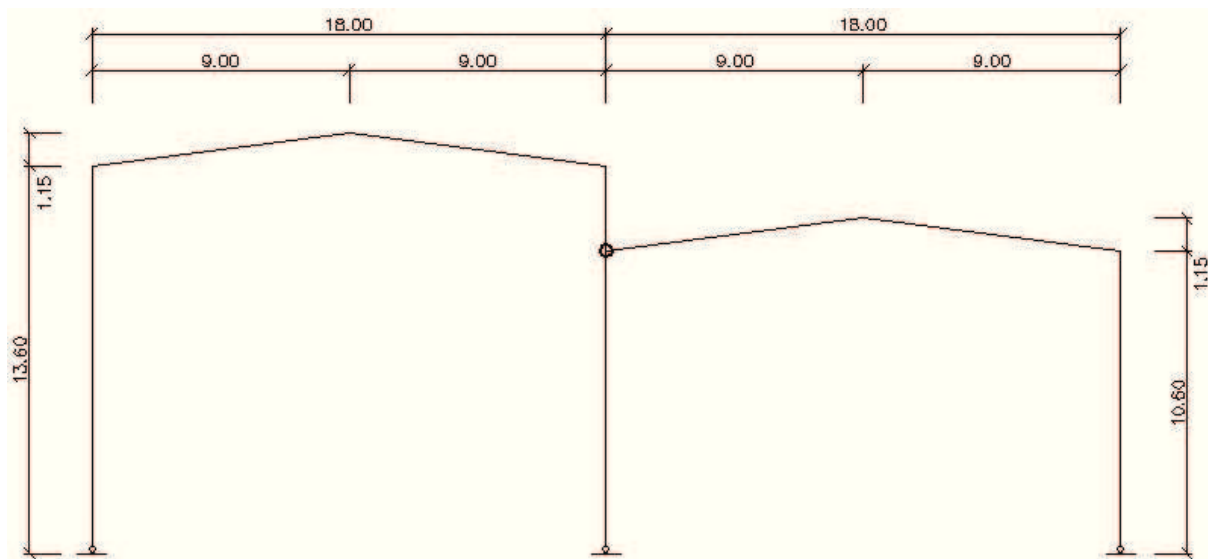
$$\mu_{LT} = 0,15 \bar{\lambda}_z \beta_{M,LT} - 0,15 = 0,15 * 1,92 * 1,8 - 0,15 = 0,368$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} N_{Ed}}{\chi_z A f_y} = 1 - \frac{0,368 * 923,92 * 10^3}{0,231 * 2,39 * 10^{-2} * 235 * 10^6} = 0,73$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z A f_y} + \frac{k_{LT} M_{Ed}}{\chi_{LT} W_{pl,y} f_y} = \frac{923,92 * 10^3}{0,231 * 2,39 * 10^{-2} * 235 * 10^6} + \frac{0,73 * 380,67 * 10^3}{0,875 * 4,81 * 10^{-3} * 235 * 10^6} = 0,993$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z A f_y} + \frac{k_{LT} M_{Ed}}{\chi_{LT} W_{pl,y} f_y} = 0,993 \leq 1 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

### 7.3.8 Posouzení nejvíce namáhaného rámového rohu



Obr. 120: Vyznačení polohy rámového rohu v konstrukci.

#### 7.3.8.1 Svar kolem spodní pásnice příčle:

$$M_{Ed} = 673,26 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,f} = \frac{M_{Ed}}{r} = \frac{673,26 * 10^3}{(550 - 29) * 10^{-3}} = 1692,24 \text{ kN}$$

Délka svaru:

$$l_{we} = 2 * 300 - 2 * 27 - 15 = 531 \text{ mm}$$

Napětí ve svaru:

$$\text{Navržen rozměr svaru } a = 13 \text{ mm}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_{Ed,f}}{\sqrt{2} * a * l_{we}} = \frac{1692,24 * 10^3}{\sqrt{2} * 0,013 * 0,531} = 173,34 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{173,34^2 + 3(173,34^2 + 0^2)} = 346,68 \text{ MPa} \leq \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,a} = 173,34 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**



## 7.3.8.2 Svar při horní pásnici příčle:

Připojení horní pásnice bude provedeno tupým svarem. Tento svar má stejnou únosnost jako základní materiál, není nutno jej posuzovat.

## 7.3.8.3 Svar stojiny příčle k pásnici sloupu:

$$\text{Navržen rozměr svaru } a = 3 \text{ mm}$$

$$V_{Ed,max} = 196,18 \text{ kN} \quad (KZS 125)$$

Délka svaru:

$$l_{we} = 2 * (550 - 2 * 27 - 2 * 29) = 876 \text{ mm}$$

Napětí ve svaru:

$$\tau_{\parallel,a} = \frac{V_{Ed}}{2 * a * l} = \frac{196,18 * 10^3}{2 * 0,003 * 0,876} = 37,32 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\tau_{\parallel,a} = 37,32 \text{ MPa} \leq \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \quad \dots \quad \textbf{VYHOVUJE}$$

## 7.3.8.4 Posouzení stěny sloupu na smyk:

Namáhání smykového pole:

$$z_{min} = h_{HEB500} - 2 * \frac{1}{2} * t_f = 500 - 2 * \frac{1}{2} * 28 = 472 \text{ mm}$$

$$V_{wp,Ed} = \frac{M_{Ed}}{z_{min}} = \frac{673,26 * 10^3}{0,472} = 1426,4 \text{ kN}$$

Únosnost smykového pole:

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f = 23900 - 2 * 300 * 28 + (14,5 + 2 * 27) * 28$$

$$A_v = 9,02 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 * f_{y,we} * A_{vc}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{0,9 * 235 * 10^6 * 9,02 * 10^{-3}}{\sqrt{3} * 1} = 1101,4 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$V_{wp,Ed} = 1426,4 \text{ kN} \not\leq V_{wp,Rd} = 1101,4 \text{ kN} \quad \dots \quad \textbf{NEVYHOVUJE}$$

Je potřeba použít diagonální výztuhu, která přenesou zbývající tlakovou sílu (rozdíl namáhání a únosnosti). Výztuha z pásoviny tl. 28 mm provedená oboustranně. Namáhání takto provedené výztuhy je malé a není nutno ji posuzovat.

## 7.3.8.5 Posouzení vodorovných výztuh:

Navržena oboustranná výztuha tl. 28 mm.

$$d_s = 525 \text{ mm} \quad (\text{osová vzdálenost dvojice vodorovných výztuh})$$

$$b = 2 * b_1 = 2 * 140 = 280 \text{ mm} \quad (\text{šířka oboustranné výztuhy})$$

$$M_{pl,s,Rd} = b * t_s * f_{yd} * d_s = 0,28 * 0,028 * 235 * 10^6 * 0,525 = 967,26 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,f,Rd} = N_{f,Rd} * z_{min} = A_f * f_{yd} * z_{min} = (0,3 * 0,028) * 235 * 10^6 * 0,472 = 931,72 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,s,Rd} = 967,26 \text{ kNm} \geq M_{pl,f,Rd} = 931,72 \text{ kNm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

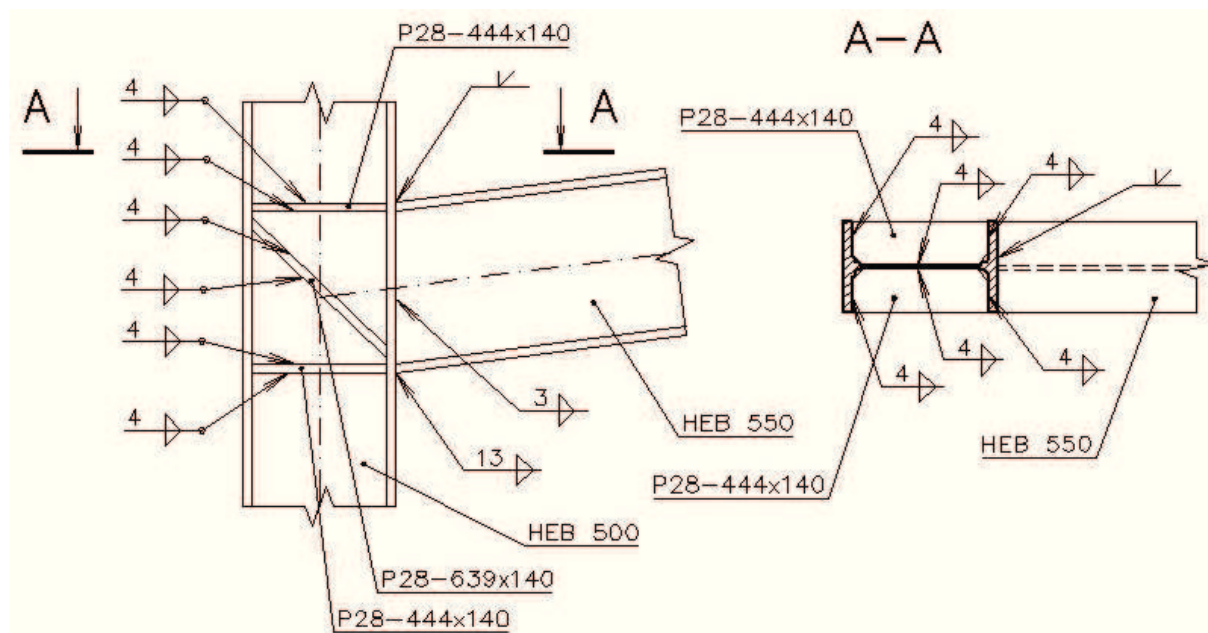
#### 7.3.8.6 Posouzení svarů připojujících výztuhu ke stojině:

Navržen svar s účinným rozměrem  $a = 4 \text{ mm}$ .

$$V_{ws,Ed} = \frac{M_{Ed}}{d_s} = \frac{673,26 * 10^3}{0,525} = 1282,4 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel,a} = \frac{V_{ws,Ed}}{4 * a * l} = \frac{1282,4 * 10^3}{4 * 0,004 * (0,5 - 2 * 0,028)} = 180,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel,a} = 37,32 \text{ MPa} \leq \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$



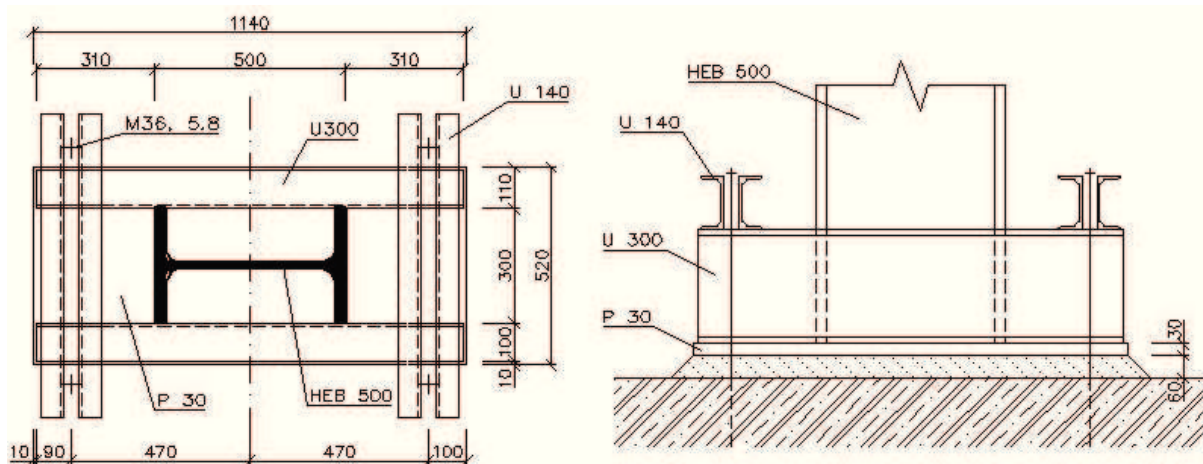
Obr. 121: Uspořádání rámového rohu.

#### 7.3.8.7 Poznámka:

Všechny ostatní rámové rohy budou provedeny obdobným způsobem – profil sloupů bude seříznut zešíkma rovnoběžně s pásnicí příčle a horní příložka bude navařena rovněž zešíkma. Dojde i k mírnému zkrácení diagonální příložky. Horní příložka bude přivařena tupým půl V swarem namísto koutového, stejně jako je tomu u připojení horní pásnice příčle.

### 7.3.9 Posouzení patky – KZS 84

#### 7.3.9.1 Geometrie patky a materiál:



Obr. 122: Geometrie patky.

$$a = 1140 \text{ mm}$$

$$b = 520 \text{ mm}$$

$$t_p = 30 \text{ mm}$$

$$r_t = 470 \text{ mm}$$

Beton: C 30/35

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

Ocel: S 235

$$f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 235 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{Výška podlití: } 60 \text{ mm} &< 0,2 * \min(1140; 520) = 0,2 * 520 = 104 \text{ mm} \\ &> 0,1 * \min(1140; 520) = 0,1 * 520 = 52 \text{ mm} \end{aligned}$$

Rozměry základového bloku: Půdorysně – 2 x 1,2 m  
Výška – 0,72 m

$$\begin{aligned} \text{Započitatelné rozměry bloku: } a_1 &= \min(2000; 5 * 1140; 1140 + 720; 5 * 520) = 1860 \text{ mm} \\ b_1 &= \min(1200; 5 * 520; 520 + 720; 5 * 1140) = 1200 \text{ mm} \end{aligned}$$

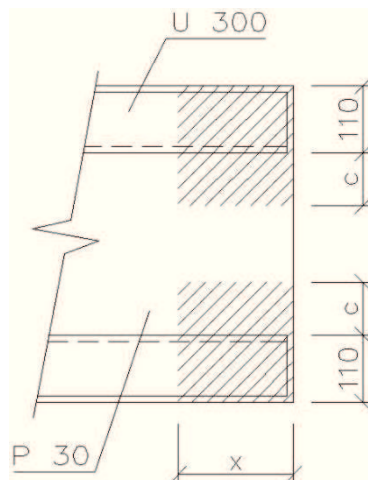
#### 7.3.9.2 Efektivní šířka patního plechu:

$$\text{Součinitel koncentrace napětí: } k_j = \sqrt{\frac{a_1 b_1}{ab}} = \sqrt{\frac{1,86 * 1,20}{1,14 * 0,52}} = 1,94$$

$$\text{Návrhová pevnost betonu: } f_j = \frac{2}{3} * \frac{k_j f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} * \frac{1,94 * 30}{1,5} = 25,86 \text{ MPa}$$

Přesah desky:  $c = t_p \sqrt{\frac{f_{yd}}{3f_j}} = 0,03 * \sqrt{\frac{235 \cdot 10^6}{3 \cdot 25,86 \cdot 10^6}} = 52 \text{ mm}$

Efektivní šířka:  $b_{eff} = 2b_{U300} + 2c + 2 * 10 = 2 * 100 + 2 * 52 + 2 * 10 = 324 \text{ mm}$



Obr. 123: Efektivní oblast desky.

### 7.3.9.3 Výpočet tlačené oblasti pod patním plechem, síly do šroubů a momentů k líci šroubů:

Excentricita:  $e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{585,05 \cdot 10^3}{399,81 \cdot 10^3} = 1,46 \text{ m}$

Tlačená oblast betonu pod patním plechem:

$$b_{eff} f_j x^2 - b_{eff} f_j (2r_t + a)x + 2N_{Ed}(e + r_t) = 0 \Rightarrow x_{1,2}$$

$$x_1 = 1987 \text{ mm} \dots \text{nesmyslný kořen}$$

$$x_2 = 93 \text{ mm}$$

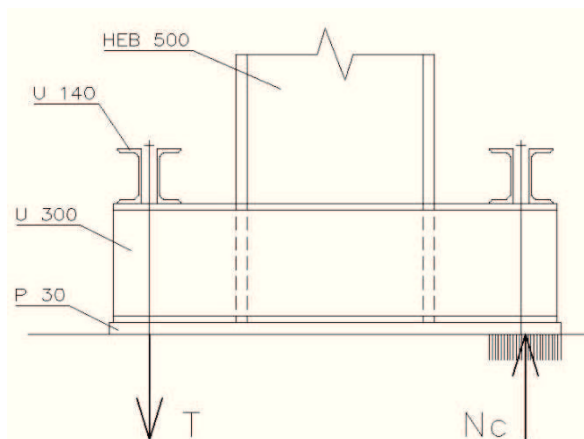
Síla do betonu:  $N_c = b_{eff} x f_j = 0,324 * 0,093 * 25,86 * 10^6 = 779,2 \text{ kN}$

Síla do šroubů:  $T = N_c - N_{Ed} = 779,2 - 339,8 = 439,4 \text{ kN}$

Momenty k líci sloupů:

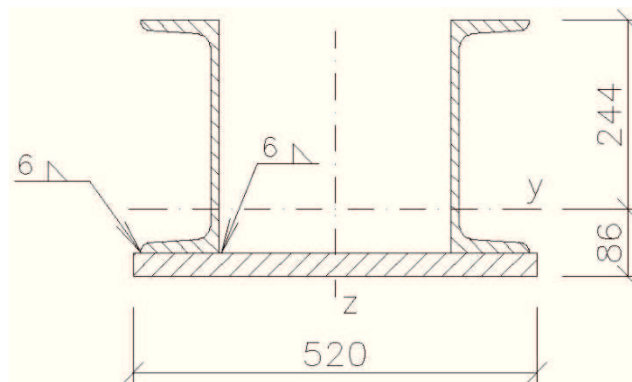
$$M_c = N_c \left(0,32 - \frac{x}{2}\right) = 779,2 * 10^3 * \left(0,32 - \frac{0,093}{2}\right) = 213,1 \text{ kNm}$$

$$M_t = 0,22 * T = 0,22 * 439,4 * 10^3 = 96,6 \text{ kNm}$$



Obr. 124: Síla do šroubu a do betonu.

### 7.3.9.4 Průřez patky:



Obr. 125: Průřez patky.

Průřezové charakteristiky:

$$I_y = 3,46 * 10^{-4} m^4$$

$$I_z = 7,32 * 10^{-4} m^4$$

$$z_t = 86 mm$$

$$W_{yh} = \frac{I_y}{h - z_t} = \frac{3,46 * 10^{-4}}{0,33 - 0,086} = 1,41 * 10^{-3} m^3$$

$$W_{yd} = \frac{I_y}{z_t} = \frac{3,46 * 10^{-4}}{0,086} = 4,02 * 10^{-3} m^3$$

$$A_{vz} = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f = 5880 - 2 * 100 * 16 + (10 + 2 * 16) * 16$$

$$A_{vz} = 3,36 * 10^{-3} m^3$$

Vnitřní síly:

$$M_p = M_c = 213,1 kNm$$

$$V_p = N_c = 779,2 kN$$

Napětí v průřezu:

$$\sigma_h = \frac{M_p}{W_{yh}} = \frac{213,1 * 10^3}{1,41 * 10^{-3}} = 151,1 MPa \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 235 MPa \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

$$\tau = \frac{V_p}{2 * A_{vz}} = \frac{779,2 * 10^3}{2 * 3,36 * 10^{-3}} = 115,9 MPa \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 135,7 MPa \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{151,1^2 + 3 * 115,9^2} = 222,9 MPa \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 235 MPa \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

### 7.3.9.5 Připojení podélných výztuh k patnímu plechu:

Navrženy jsou koutové svary o rozměru  $a = 6 mm$ , dva svary na výztuhu.

$$l_{we} = 1120 mm$$

$$A_{we} = 4 * a * l_{we} = 4 * 6 * 1120 = 2,69 * 10^{-2} m^2$$

$$S_{f,y} = bt_p \left( z_t - \frac{t_p}{2} \right) = 0,52 * 0,03 * \left( 0,086 - \frac{0,03}{2} \right) = 1,12 * 10^{-3} m^3$$

$$I_{we} = 4 * \frac{1}{12} a l_{we}^3 = 4 * \frac{1}{12} * 6 * 1120^3 = 2,81 * 10^{-3} m^4$$

Řez 1-1:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_{we}} + \frac{V_p S_{f,y}}{I_y * 4 * a} = \frac{117,8 * 10^3}{2,69 * 10^{-2}} + \frac{779,2 * 10^3 * 1,12 * 10^{-3}}{3,46 * 10^{-4} * 4 * 0,006} = 109,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{A_{we}} + \frac{M_{Ed}}{I_{we}} \chi_i = \frac{366,81 * 10^3}{2,69 * 10^{-2}} + \frac{585,05 * 10^3}{2,81 * 10^{-3}} * 0,25 = 65,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}} = \frac{65,7 * 10^6}{\sqrt{2}} = 46,5 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{46,5^2 + 3(46,5^2 + 109,5^2)} = 212,3 \text{ MPa}$$

$$212,3 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \quad \dots \text{ VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} = 46,5 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \quad \dots \text{ VYHOVUJE}$$

Řez 2-2:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_{we}} = \frac{117,3 * 10^3}{2,69 * 10^{-2}} = 4,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{A_{we}} + \frac{M_{Ed}}{I_{we}} \chi_i = \frac{366,81 * 10^3}{2,69 * 10^{-2}} + \frac{585,05 * 10^3}{2,81 * 10^{-3}} * 0,56 = 130,2 \text{ MPa}$$

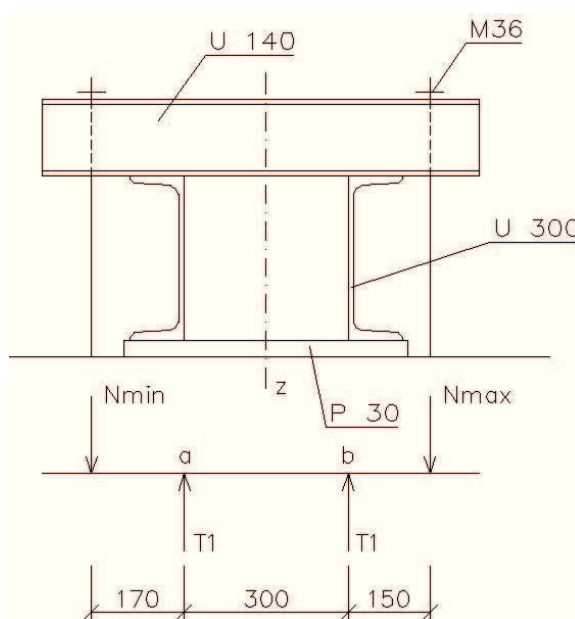
$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}} = \frac{130,2 * 10^6}{\sqrt{2}} = 92,1 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{92,1^2 + 3(92,1^2 + 4,3^2)} = 184,9 \text{ MPa}$$

$$184,9 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \quad \dots \text{ VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} = 92,1 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \quad \dots \text{ VYHOVUJE}$$

### 7.3.9.6 Kotevní šrouby:



Obr. 126: Schéma působení sil.

$$T_1 = \frac{T}{2} = \frac{439,4}{2} = 219,7 \text{ kN}$$
$$N_{T,Ed,max} = \frac{219,7 * 170 + 219,7 * 470}{620} = 226,7 \text{ kN}$$
$$N_{T,Ed,min} = 439,4 - 226,7 = 212,7 \text{ kN}$$

Navržené šrouby M36 jakosti 5.8:

$$F_{t,Rd} = k_2 * A_s * \frac{F_{ub}}{\gamma_{M2}} = 0,9 * 8,65 * 10^{-4} * \frac{500 * 10^6}{1,25} = 311,4 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$N_{T,Ed,max} = 226,7 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 311,4 \text{ kN} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.3.9.7 Kotevní příčník:

$$M_{a,d} = N_{T,Ed,min} * 0,17 = 212,7 * 0,17 = 36,2 \text{ kNm}$$
$$V_{a,d} = 212,7 \text{ kN}$$

$$M_{b,d} = N_{T,Ed,max} * 0,15 = 226,7 * 0,15 = 34,0 \text{ kNm}$$
$$V_{b,d} = 226,7 \text{ kN}$$

Návrh 2 x U 140:

$$W_{pl,y} = 2 * 8,64 * 10^{-5} = 1,73 * 10^{-4} \text{ m}^3$$
$$A_{v,z} = 2 * 1,11 * 10^{-3} = 2,22 * 10^{-3} \text{ m}^2$$
$$M_{pl,Rd} = W_{pl,Rd} * f_{yd} = 1,73 * 10^{-4} * 235 * 10^6 = 40,6 \text{ kNm}$$

Zatřídění průřezu:

$$\text{Stojina: } \frac{d}{t_w} = \frac{100}{7} = 14,28 \leq 72\varepsilon = 72 \dots \text{třída 1}$$
$$\text{Pásnice: } \frac{c}{t_f} = \frac{60}{10} = 6 \leq 10\varepsilon = 10 \dots \text{třída 1}$$

Posouzení na smyk:

$$V_{pl,Rd} = A_{v,z} * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 2,22 * 10^{-3} * \frac{235 * 10^6}{\sqrt{3}} = 301,2 \text{ kN}$$
$$V_{max,d} = V_{b,d} = 226,7 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 301,2 \text{ kN} \geq V_{max,d} = 226,7 \text{ kN} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$
$$V_{max,d} = 226,7 \text{ kN} \not\leq \frac{1}{2} * V_{pl,Rd} = 150,6 \text{ kN}$$

...nutno zohlednit vliv smyku na ohybovou únosnost

Průřez a:

$$\rho = \left( \frac{2 * V_{a,d}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left( \frac{2 * 212,7}{301,2} - 1 \right)^2 = 0,17$$
$$M_{V,Rd} = \left( W_{pl,y} - \frac{\rho A_v^2}{4 * t_w} \right) \frac{f_{yd}}{\gamma_{M0}} = \left( 1,73 * 10^{-4} - \frac{0,17 * (2,22 * 10^{-3})^2}{4 * 2 * 0,007} \right) \frac{235 * 10^6}{1} = 37,1 \text{ kNm}$$
$$M_{V,Rd} = 37,1 \text{ kNm} \geq M_{a,d} = 36,2 \text{ kNm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$



Průřez b:

$$\rho = \left( \frac{2 \cdot V_{b,d}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left( \frac{2 \cdot 226,7}{301,2} - 1 \right)^2 = 0,25$$

$$M_{V,Rd} = \left( W_{pl,y} - \frac{\rho A_v^2}{4 \cdot t_w} \right) \frac{f_{yd}}{\gamma_{M0}} = \left( 1,73 \cdot 10^{-4} - \frac{0,25 \cdot (2,22 \cdot 10^{-3})^2}{4 \cdot 2 \cdot 0,007} \right) \frac{235 \cdot 10^6}{1} = 35,4 \text{ kNm}$$

$$M_{V,Rd} = 35,4 \text{ kNm} \geq M_{b,d} = 34,0 \text{ kNm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

#### 7.3.9.8 Přenos vodorovné posouvající síly do betonové desky:

Tlaková síla v betonu:  $N_c = 779,2 \text{ kN}$

Součinitel tření:  $\mu = 0,2$

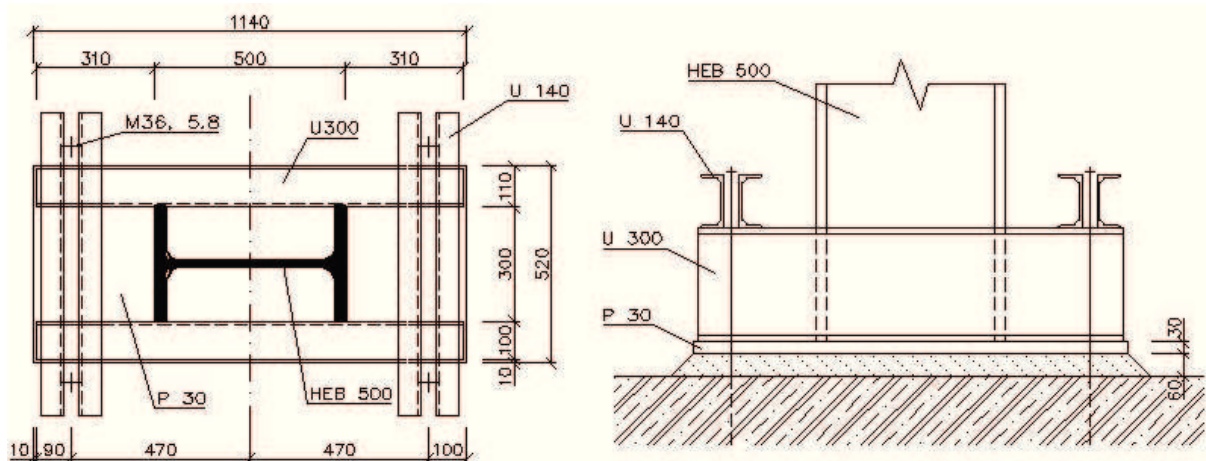
Síla přenášená třením:  $F_{tř} = \mu \cdot N_c = 0,2 \cdot 779,2 = 155,84 \text{ kN}$

$$F_{tř} = 155,84 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 117,2 \text{ kN}$$

...není nutné navrhnout zarážku

#### 7.3.10 Posouzení patky - KZS 124

##### 7.3.10.1 Geometrie patky a materiál:



Obr. 127: Geometrie patky.

$a = 1140 \text{ mm}$

$b = 520 \text{ mm}$

$t_p = 30 \text{ mm}$

$r_t = 470 \text{ mm}$

Beton: C 30/35

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

Ocel: S 235

$$f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 235 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{Výška podlití: } 60 \text{ mm} &< 0,2 * \min(1140; 520) = 0,2 * 520 = 104 \text{ mm} \\ &> 0,1 * \min(1140; 520) = 0,1 * 520 = 52 \text{ mm} \end{aligned}$$

Rozměry základového bloku: Půdorysně – 2 x 1,2 m  
Výška – 0,72 m

$$\begin{aligned} \text{Započitatelné rozměry bloku: } a_1 &= \min(2000; 5 * 1140; 1140 + 720; 5 * 520) = 1860 \text{ mm} \\ b_1 &= \min(1200; 5 * 520; 520 + 720; 5 * 1140) = 1200 \text{ mm} \end{aligned}$$

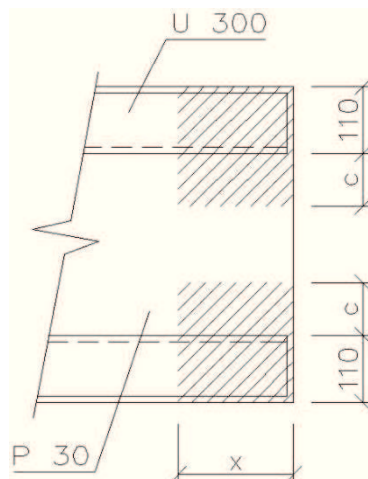
### 7.3.10.2 Efektivní šířka patního plechu:

$$\text{Součinitel koncentrace napětí: } k_j = \sqrt{\frac{a_1 b_1}{ab}} = \sqrt{\frac{1,86 * 1,20}{1,14 * 0,52}} = 1,94$$

$$\text{Návrhová pevnost betonu: } f_j = \frac{2}{3} * \frac{k_j f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} * \frac{1,94 * 30}{1,5} = 25,86 \text{ MPa}$$

$$\text{Přesah desky: } c = t_p \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 f_j}} = 0,03 * \sqrt{\frac{235 * 10^6}{3 * 25,86 * 10^6}} = 52 \text{ mm}$$

$$\text{Efektivní šířka: } b_{eff} = 2b_{U300} + 2c + 2 * 10 = 2 * 100 + 2 * 52 + 2 * 10 = 324 \text{ mm}$$



Obr. 128: Efektivní oblast desky.

### 7.3.10.3 Výpočet tlačené oblasti pod patním plechem, síly do šroubů a momentů k líci šroubů:

$$\text{Excentricita: } e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{380,67 * 10^3}{923,92 * 10^3} = 0,41 \text{ m}$$

Tlačená oblast betonu pod patním plechem:

$$b_{eff} f_j x^2 - b_{eff} f_j (2r_t + a)x + 2N_{Ed}(e + r_t) = 0 \Rightarrow x_{1,2}$$

$$x_1 = 1982 \text{ mm} \dots \text{nesmyslný kořen}$$

$$x_2 = 98 \text{ mm}$$

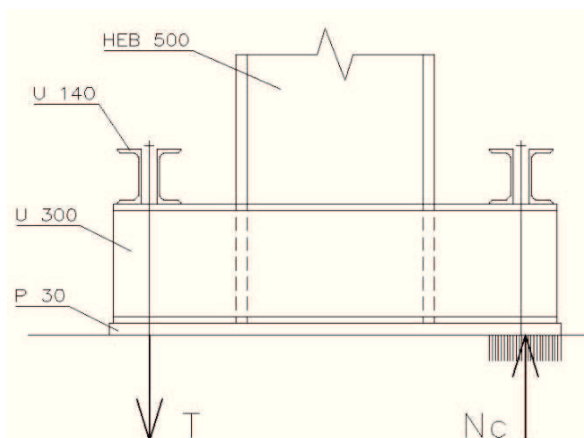
$$\text{Síla do betonu: } N_c = b_{eff} x f_j = 0,324 * 0,098 * 25,86 * 10^6 = 821,1 \text{ kN}$$

$$\text{Síla do šroubů: } T = N_c - N_{Ed} = 821,1 - 923,9 = 102,8 \text{ kN}$$

Momenty k líci sloupu:

$$M_c = N_c \left( 0,32 - \frac{x}{2} \right) = 821,1 * 10^3 * \left( 0,32 - \frac{0,098}{2} \right) = 222,5 \text{ kNm}$$

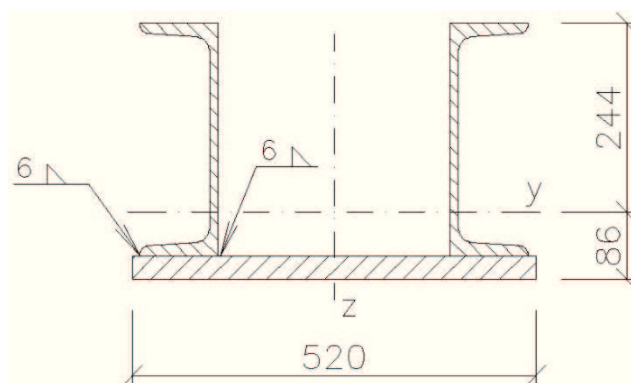
$$M_t = 0,22 * T = 0,22 * 102,8 * 10^3 = 22,6 \text{ kNm}$$



Obr. 129: Síla do šroubu a do betonu.

7.3.10.4

Průřez patky:



Obr. 130: Průřez patky.

Průřezové charakteristiky:

$$I_y = 3,46 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_z = 7,32 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$z_t = 86 \text{ mm}$$

$$W_{yh} = \frac{I_y}{h - z_t} = \frac{3,46 * 10^{-4}}{0,33 - 0,086} = 1,41 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{yd} = \frac{I_y}{z_t} = \frac{3,46 * 10^{-4}}{0,086} = 4,02 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$A_{vz} = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f = 5880 - 2 * 100 * 16 + (10 + 2 * 16) * 16$$

$$A_{vz} = 3,36 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

Vnitřní síly:

$$M_p = M_c = 222,5 \text{ kNm}$$

$$V_p = N_c = 821,1 \text{ kN}$$

Napětí v průřezu:

$$\sigma_h = \frac{M_p}{W_{yh}} = \frac{222,5 \cdot 10^3}{1,41 \cdot 10^{-3}} = 157,8 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 235 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

$$\tau = \frac{V_p}{2 \cdot A_{vz}} = \frac{821,1 \cdot 10^3}{2 \cdot 3,36 \cdot 10^{-3}} = 122,1 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 135,7 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{157,8^2 + 3 \cdot 122,1^2} = 233,9 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 235 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

### 7.3.10.5 Připojení podélných výztuh k patnímu plechu:

Navrženy jsou koutové svary o rozměru  $a = 6 \text{ mm}$ , dva svary na výztuhu.

$$l_{we} = 1120 \text{ mm}$$

$$A_{we} = 4 \cdot a \cdot l_{we} = 4 \cdot 6 \cdot 1120 = 2,69 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$S_{f,y} = b t_p \left( z_t - \frac{t_p}{2} \right) = 0,52 \cdot 0,03 \cdot \left( 0,086 - \frac{0,03}{2} \right) = 1,12 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$I_{we} = 4 \cdot \frac{1}{12} a l_{we}^3 = 4 \cdot \frac{1}{12} \cdot 6 \cdot 1120^3 = 2,81 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

Řez 1-1:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_{we}} + \frac{V_p S_{f,y}}{I_y \cdot 4 \cdot a} = \frac{83,83 \cdot 10^3}{2,69 \cdot 10^{-2}} + \frac{821,1 \cdot 10^3 \cdot 1,12 \cdot 10^{-3}}{3,46 \cdot 10^{-4} \cdot 4 \cdot 0,006} = 113,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{A_{we}} + \frac{M_{Ed}}{I_{we}} \chi_i = \frac{923,92 \cdot 10^3}{2,69 \cdot 10^{-2}} + \frac{380,67 \cdot 10^3}{2,81 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,25 = 169,8 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}} = \frac{169,8 \cdot 10^6}{\sqrt{2}} = 120,1 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{120,1^2 + 3(120,1^2 + 113,8^2)} = 310 \text{ MPa}$$

$$310 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} = 120,1 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

Řez 2-2:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_{we}} = \frac{83,83 \cdot 10^3}{2,69 \cdot 10^{-2}} = 3,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{A_{we}} + \frac{M_{Ed}}{I_{we}} \chi_i = \frac{923,92 \cdot 10^3}{2,69 \cdot 10^{-2}} + \frac{380,67 \cdot 10^3}{2,81 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,56 = 169,8 \text{ MPa}$$

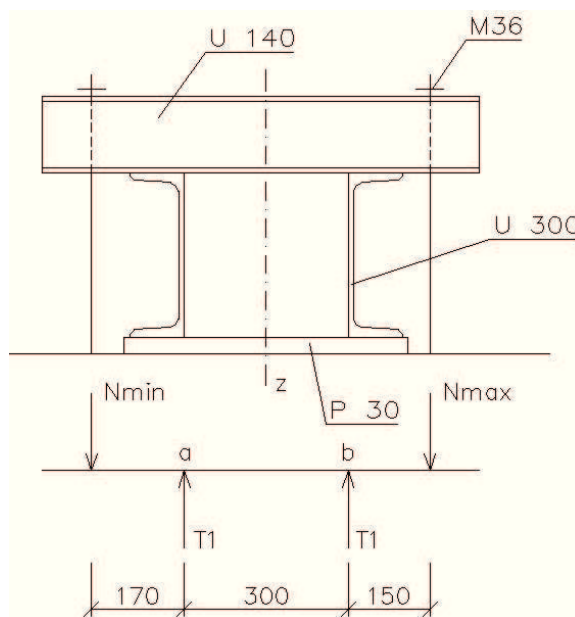
$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}} = \frac{169,8 \cdot 10^6}{\sqrt{2}} = 120,1 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{120,1^2 + 3(120,1^2 + 3,1^2)} = 240,26 \text{ MPa}$$

$$240,26 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} = 120,1 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

## 7.3.10.6 Kotevní šrouby:



Obr. 131: Schéma působení sil.

$$T_1 = \frac{T}{2} = \frac{102,8}{2} = 51,4 \text{ kN}$$

$$N_{T,Ed,max} = \frac{51,4 \cdot 170 + 51,4 \cdot 470}{620} = 53,05 \text{ kN}$$

$$N_{T,Ed,min} = 102,8 - 53,05 = 49,3 \text{ kN}$$

Navržené šrouby M36 jakosti 5.8:

$$F_{t,Rd} = k_2 \cdot A_s \cdot \frac{F_{ub}}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot 8,65 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{500 \cdot 10^6}{1,25} = 311,4 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$N_{T,Ed,max} = 53,05 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 311,4 \text{ kN} \dots \text{ VYHOVUJE}$$

## 7.3.10.7 Kotevní příčník:

$$M_{a,d} = N_{T,Ed,min} \cdot 0,17 = 49,3 \cdot 0,17 = 8,38 \text{ kNm}$$

$$V_{a,d} = 49,3 \text{ kN}$$

$$M_{b,d} = N_{T,Ed,max} \cdot 0,15 = 53,05 \cdot 0,15 = 7,95 \text{ kNm}$$

$$V_{b,d} = 53,05 \text{ kN}$$

Návrh 2 x U 140:

$$W_{pl,y} = 2 \cdot 8,64 \cdot 10^{-5} = 1,73 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$A_{v,z} = 2 \cdot 1,11 \cdot 10^{-3} = 2,22 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,Rd} \cdot f_{yd} = 1,73 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6 = 40,6 \text{ kNm}$$

Zatřídění průřezu:

$$\text{Stojina: } \frac{d}{t_w} = \frac{100}{7} = 14,28 \leq 72\varepsilon = 72 \dots \text{ třída 1}$$

Pásnice:  $\frac{c}{t_f} = \frac{60}{10} = 6 \leq 10\varepsilon = 10 \dots \text{třída 1}$

Posouzení na smyk:

$$V_{pl,Rd} = A_{v,z} * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 2,22 * 10^{-3} * \frac{235 * 10^6}{\sqrt{3}} = 301,2 \text{ kN}$$

$$V_{max,d} = V_{b,d} = 53,05 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 301,2 \text{ kN} \geq V_{max,d} = 53,05 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

$$V_{max,d} = 53,05 \text{ kN} \leq \frac{1}{2} * V_{pl,Rd} = 150,6 \text{ kN}$$

...není nutné zohlednit vliv smyku na ohybovou únosnost

Průřez a:

$$M_{pl,Rd} = 40,6 \text{ kNm} \geq M_{a,d} = 8,38 \text{ kNm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

Průřez b:

$$M_{pl,Rd} = 40,6 \text{ kNm} \geq M_{b,d} = 7,95 \text{ kNm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

7.3.10.8 Přenos vodorovné posouvající síly do betonové desky:

Tlaková síla v betonu:  $N_c = 821,1 \text{ kN}$

Součinitel tření:  $\mu = 0,2$

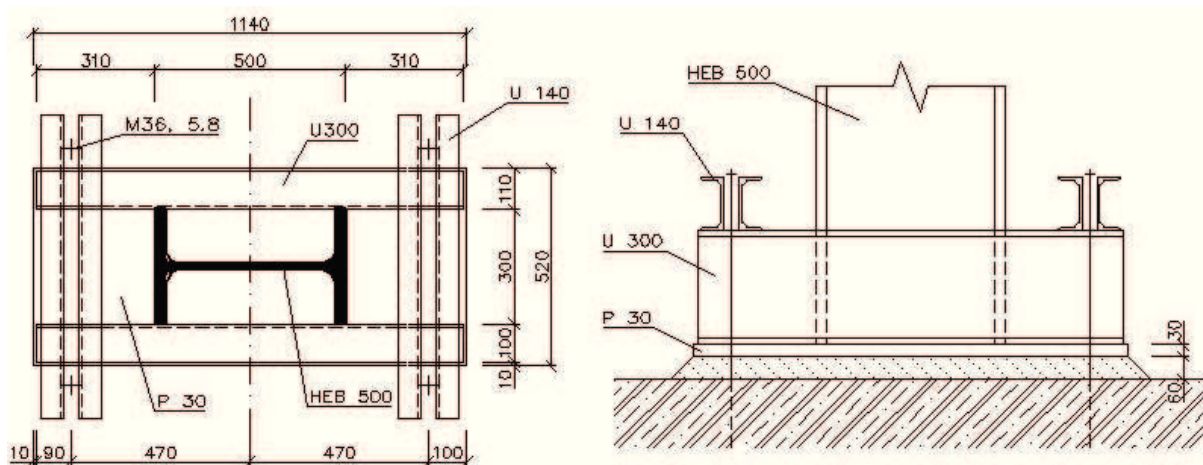
Síla přenášená třením:  $F_{tř} = \mu * N_c = 0,2 * 821,1 = 164,22 \text{ kN}$

$$F_{tř} = 164,22 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 83,83 \text{ kN}$$

...není nutné navrhnout zarážku

### 7.3.11 Posouzení patky – KZS 91

7.3.11.1 Geometrie patky a materiál:



Obr. 132: Geometrie patky.

$$a = 1140 \text{ mm}$$

$$b = 520 \text{ mm}$$

$$t_p = 30 \text{ mm}$$

$$r_t = 470 \text{ mm}$$

Beton: C 30/35

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

Ocel: S 235

$$f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 235 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{Výška podlití: } 60 \text{ mm} &< 0,2 * \min(1140; 520) = 0,2 * 520 = 104 \text{ mm} \\ &> 0,1 * \min(1140; 520) = 0,1 * 520 = 52 \text{ mm} \end{aligned}$$

Rozměry základového bloku: Půdorysně – 2 x 1,2 m

Výška – 0,72 m

Započitatelné rozměry bloku:  $a_1 = \min(2000; 5 * 1140; 1140 + 720; 5 * 520) = 1860 \text{ mm}$

$b_1 = \min(1200; 5 * 520; 520 + 720; 5 * 1140) = 1200 \text{ mm}$

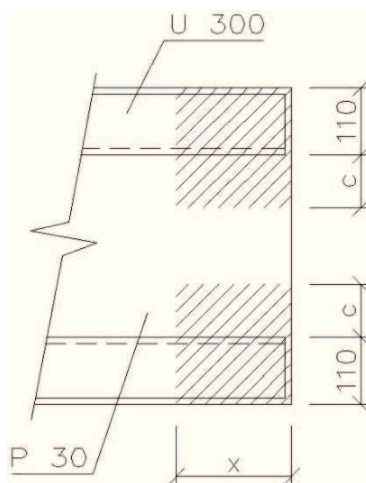
#### 7.3.11.2 Efektivní šířka patního plechu:

$$\text{Součinitel koncentrace napětí: } k_j = \sqrt{\frac{a_1 b_1}{ab}} = \sqrt{\frac{1,86 * 1,20}{1,14 * 0,52}} = 1,94$$

$$\text{Návrhová pevnost betonu: } f_j = \frac{2}{3} * \frac{k_j f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} * \frac{1,94 * 30}{1,5} = 25,86 \text{ MPa}$$

$$\text{Přesah desky: } c = t_p \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 f_j}} = 0,03 * \sqrt{\frac{235 * 10^6}{3 * 25,86 * 10^6}} = 52 \text{ mm}$$

$$\text{Efektivní šířka: } b_{eff} = 2b_{U300} + 2c + 2 * 10 = 2 * 100 + 2 * 52 + 2 * 10 = 324 \text{ mm}$$



Obr. 133: Efektivní oblast desky.



### 7.3.11.3 Výpočet tlačené oblasti pod patním plechem, síly do šroubů a momentů k líci šroubů:

Excentricita: 
$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{525,27 \cdot 10^3}{512,8 \cdot 10^3} = 1,02 \text{ m}$$

Tlačená oblast betonu pod patním plechem:

$$b_{eff} f_j x^2 - b_{eff} f_j (2r_t + a)x + 2N_{Ed}(e + r_t) = 0 \Rightarrow x_{1,2}$$

$$x_1 = 1988 \text{ mm} \dots \text{nesmyslný kořen}$$

$$x_2 = 92 \text{ mm}$$

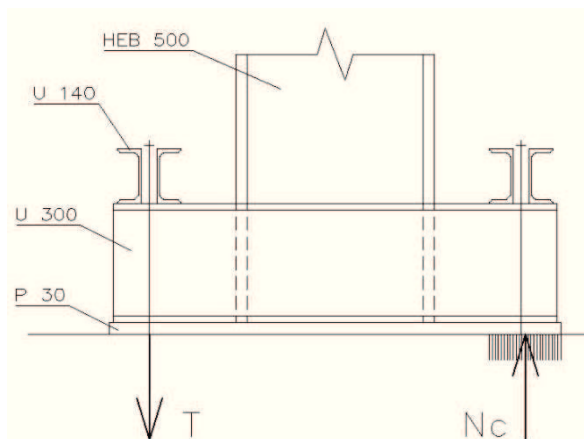
Síla do betonu:  $N_c = b_{eff} x f_j = 0,324 \cdot 0,092 \cdot 25,86 \cdot 10^6 = 770,8 \text{ kN}$

Síla do šroubů:  $T = N_c - N_{Ed} = 770,8 - 512,8 = 258 \text{ kN}$

Momenty k líci sloupu:

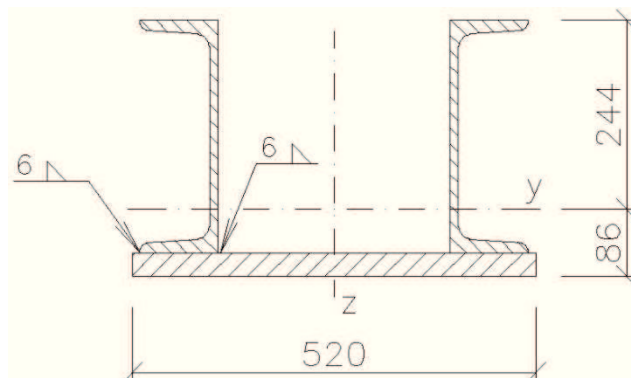
$$M_c = N_c \left(0,32 - \frac{x}{2}\right) = 770,8 \cdot 10^3 \cdot \left(0,32 - \frac{0,092}{2}\right) = 211,2 \text{ kNm}$$

$$M_t = 0,22 \cdot T = 0,22 \cdot 258 \cdot 10^3 = 56,8 \text{ kNm}$$



Obr. 134: Síla do šroubu a do betonu.

### 7.3.11.4 Průřez patky:



Obr. 135: Průřez patky.

Průřezové charakteristiky:

$$I_y = 3,46 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_z = 7,32 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$z_t = 86 \text{ mm}$$

$$W_{yh} = \frac{I_y}{h - z_t} = \frac{3,46 \cdot 10^{-4}}{0,33 - 0,086} = 1,41 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{yd} = \frac{I_y}{z_t} = \frac{3,46 \cdot 10^{-4}}{0,086} = 4,02 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$A_{vz} = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f = 5880 - 2 \cdot 100 \cdot 16 + (10 + 2 \cdot 16) \cdot 16$$

$$A_{vz} = 3,36 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Vnitřní síly:

$$M_p = M_c = 211,2 \text{ kNm}$$

$$V_p = N_c = 770,8 \text{ kN}$$

Napětí v průřezu:

$$\sigma_h = \frac{M_p}{W_{yh}} = \frac{211,2 \cdot 10^3}{1,41 \cdot 10^{-3}} = 149,8 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 235 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

$$\tau = \frac{V_p}{2 \cdot A_{vz}} = \frac{770,8 \cdot 10^3}{2 \cdot 3,36 \cdot 10^{-3}} = 114,7 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 135,7 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{149,8^2 + 3 \cdot 114,7^2} = 220,8 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 235 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

#### 7.3.11.5 Připojení podélných výztuh k patnímu plechu:

Navrženy jsou koutové svary o rozměru  $a = 6 \text{ mm}$ , dva svary na výztuhu.

$$l_{we} = 1120 \text{ mm}$$

$$A_{we} = 4 \cdot a \cdot l_{we} = 4 \cdot 6 \cdot 1120 = 2,69 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$S_{f,y} = bt_p \left( z_t - \frac{t_p}{2} \right) = 0,52 \cdot 0,03 \cdot \left( 0,086 - \frac{0,03}{2} \right) = 1,12 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$I_{we} = 4 \cdot \frac{1}{12} a l_{we}^3 = 4 \cdot \frac{1}{12} \cdot 6 \cdot 1120^3 = 2,81 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

Řez 1-1:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_{we}} + \frac{V_p S_{f,y}}{I_y \cdot 4 \cdot a} = \frac{127,08 \cdot 10^3}{2,69 \cdot 10^{-2}} + \frac{772,8 \cdot 10^3 \cdot 1,12 \cdot 10^{-3}}{3,46 \cdot 10^{-4} \cdot 4 \cdot 0,006} = 108,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{A_{we}} + \frac{M_{Ed}}{I_{we}} x_i = \frac{512,8 \cdot 10^3}{2,69 \cdot 10^{-2}} + \frac{525,27 \cdot 10^3}{2,81 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,25 = 65,8 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}} = \frac{65,8 \cdot 10^6}{\sqrt{2}} = 46,5 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{46,5^2 + 3(46,5^2 + 108,9^2)} = 210,3 \text{ MPa}$$

$$210,3 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} = 46,5 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Řez 2-2:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_{we}} = \frac{127,08 \cdot 10^3}{2,69 \cdot 10^{-2}} = 4,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{A_{we}} + \frac{M_{Ed}}{I_{we}} x_i = \frac{512,8 \cdot 10^3}{2,69 \cdot 10^{-2}} + \frac{525,27 \cdot 10^3}{2,81 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,56 = 123,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}} = \frac{123,7 \cdot 10^6}{\sqrt{2}} = 87,46 \text{ MPa}$$

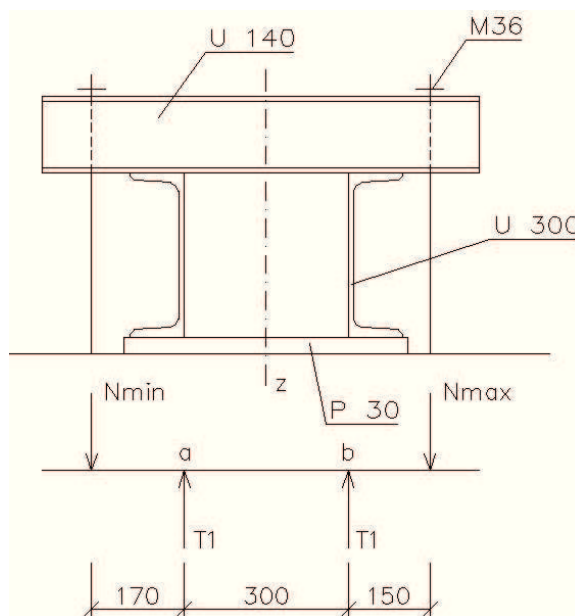
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{87,46^2 + 3(87,46^2 + 4,7^2)} = 175,1 \text{ MPa}$$

$$175,1 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} = 87,46 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

### 7.3.11.6

Kotevní šrouby:



Obr. 136: Schéma působení sil.

$$T_1 = \frac{T}{2} = \frac{258}{2} = 129 \text{ kN}$$

$$N_{T,Ed,max} = \frac{129 \cdot 170 + 129 \cdot 470}{620} = 133,2 \text{ kN}$$

$$N_{T,Ed,min} = 258 - 133,2 = 124,8 \text{ kN}$$

Navržené šrouby M36 jakosti 5.8:

$$F_{t,Rd} = k_2 \cdot A_s \cdot \frac{F_{ub}}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot 8,65 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{500 \cdot 10^6}{1,25} = 311,4 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$N_{T,Ed,max} = 133,2 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 311,4 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$



## 7.3.11.7 Kotevní příčník:

$$M_{a,d} = N_{T,Ed,min} * 0,17 = 124,8 * 0,17 = 21,2 \text{ kNm}$$

$$V_{a,d} = 124,8 \text{ kN}$$

$$M_{b,d} = N_{T,Ed,max} * 0,15 = 133,2 * 0,15 = 19,98 \text{ kNm}$$

$$V_{b,d} = 133,2 \text{ kN}$$

Návrh 2 x U 140:

$$W_{pl,y} = 2 * 8,64 * 10^{-5} = 1,73 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$A_{v,z} = 2 * 1,11 * 10^{-3} = 2,22 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,Rd} * f_{yd} = 1,73 * 10^{-4} * 235 * 10^6 = 40,6 \text{ kNm}$$

Zatřídění průřezu:

$$\text{Stojina: } \frac{d}{t_w} = \frac{100}{7} = 14,28 \leq 72\varepsilon = 72 \dots \text{třída 1}$$

$$\text{Pásnice: } \frac{c}{t_f} = \frac{60}{10} = 6 \leq 10\varepsilon = 10 \dots \text{třída 1}$$

Posouzení na smyk:

$$V_{pl,Rd} = A_{v,z} * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 2,22 * 10^{-3} * \frac{235 * 10^6}{\sqrt{3}} = 301,2 \text{ kN}$$

$$V_{max,d} = V_{b,d} = 133,2 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 301,2 \text{ kN} \geq V_{max,d} = 133,2 \text{ kN} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

$$V_{max,d} = 133,2 \text{ kN} \leq \frac{1}{2} * V_{pl,Rd} = 150,6 \text{ kN}$$

...není nutné zohlednit vliv smyku na ohybovou únosnost

Průřez a:

$$M_{pl,Rd} = 40,6 \text{ kNm} \geq M_{a,d} = 21,2 \text{ kNm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Průřez b:

$$M_{pl,Rd} = 40,6 \text{ kNm} \geq M_{b,d} = 19,98 \text{ kNm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

## 7.3.11.8 Přenos vodorovné posouvající síly do betonové desky:

$$\text{Tlaková síla v betonu: } N_c = 770,8 \text{ kN}$$

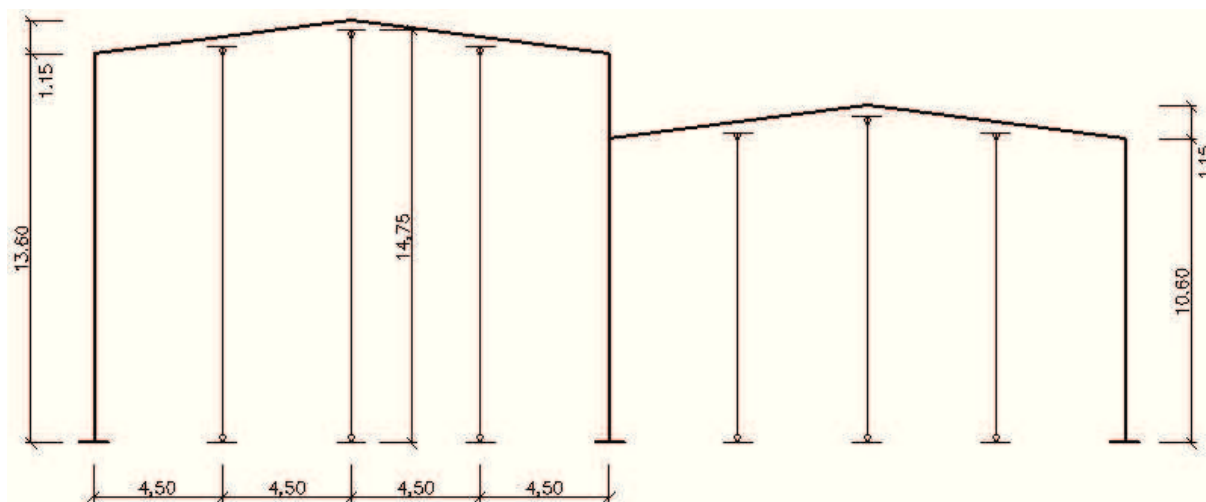
$$\text{Součinitel tření: } \mu = 0,2$$

$$\text{Síla přenášená třením: } F_{tř} = \mu * N_c = 0,2 * 770,8 = 154,1 \text{ kN}$$

$$F_{tř} = 154,2 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 127,08 \text{ kN}$$

...není nutné navrhnout zarážku

## 7.4 SLOUPKY ŠTÍTOVÉ STĚNY



Obr. 137: Schéma sloupků štítové stěny.

Pro určení namáhání rozhoduje střední sloupek v části 1 (vyšší část haly).

### 7.4.1 Zatížení

#### 7.4.1.1 Zatížení stálé:

Navržen profil HEB 220 – hmotnost 71,4 kg/m.

- Vlastní tíha:  $g_{k,1} = 0,714 \text{ kN/m}$   
 $g_{d,1} = g_k * \gamma_f = 0,714 * 1,35 = 0,964 \text{ kN/m}$
- Obvod. plášť:  $g_{k,2} = 0,312 \text{ kN/m}$   
 $g_{d,2} = g_k * \gamma_f = 0,312 * 1,35 = 0,421 \text{ kN/m}$
- **CELKEM:**  $g_k = 0,714 + 0,312 = 1,026 \text{ kN/m}$   
 $g_d = 0,964 + 0,421 = 1,385 \text{ kN/m}$

#### 7.4.1.2 Zatížení větrem:

- Největší tlak větru:  $w_{e,k,1} = w_D * 4,5 = 0,58 * 4,5 = 2,61 \text{ kN/m}$   
 $w_{e,d,1} = w_{e,k} * \gamma_f = 2,61 * 1,5 = 3,92 \text{ kN/m}$
- Největší sání větru:  $w_{e,k,2} = w_B * 4,5 = -0,633 * 4,5 = -2,84 \text{ kN/m}$   
 $w_{e,d,2} = w_{e,k} * \gamma_f = -2,84 * 1,5 = -4,26 \text{ kN/m}$

**Rozhoduje sání větru.**

### 7.4.2 Maximální ohybový moment

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * w_{e,d,2} * l^2 = \frac{1}{8} * 4,26 * 14,75^2 = 115,85 \text{ kNm}$$

### 7.4.3 Průřezové charakteristiky IPE 220

$$I_y = 8,09 * 10^{-5} m^4$$

$$I_z = 2,84 * 10^{-5} m^4$$

$$i_y = 0,094 m$$

$$i_z = 0,056 m$$

$$W_{pl,y} = 8,28 * 10^{-4} m^3$$

$$W_{pl,z} = 3,94 * 10^{-4} m^3$$

$$I_t = 7,66 * 10^{-7} m^4$$

$$I_w = 2,96 * 10^{-7} m^6$$

$$A = 9,1 * 10^{-3} m^2$$

#### 7.4.3.1 Zatřídění průřezu:

$$\text{Stojina: } \frac{d}{t_w} = \frac{152}{9,5} = 16 \leq 72\varepsilon = 72 \dots \text{třída 1}$$

$$\text{Pásnice: } \frac{c}{t_f} = \frac{110}{16} = 6,9 \leq 10\varepsilon = 10 * 1 = 10 \dots \text{třída 1}$$

### 7.4.4 Posouzení

#### 7.4.4.1 Posouzení na MSÚ:

$$k = k_w = 1$$

$$L_{z,1} = k * L = 1 * 14,75 = 14,75 m$$

$$i_{z1} = \frac{i_z}{i_y} * \frac{h}{2} = \frac{56}{94} * \frac{220}{2} = 0,066 m$$

$$\alpha_t = 0,62 \frac{L_{z1}}{h} \sqrt{\frac{I_t}{I_z}} = 0,62 * \frac{14,75}{0,22} * \sqrt{\frac{7,66 * 10^{-7}}{2,84 * 10^{-5}}} = 6,82$$

$$\gamma_v = 0,23$$

$$\kappa_M = 0,94$$

$$\lambda_{LT} = \gamma_v \frac{\kappa_M L_{z1}}{i_{z1}} = 0,23 \frac{0,94 * 14,75}{0,066} = 48,31$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} = \frac{48,31}{93,9} = 0,51 \Rightarrow \chi_{LT} = 0,880$$

$$M_{y,Rd} = \chi_{LT} W_{pl,y} f_{yd} = 0,880 * 8,28 * 10^{-4} * 235 * 10^6 = 171,23 kNm$$

$$M_{y,Rd} = 171,23 kNm \geq M_{Ed} = 115,85 kNm \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

#### 7.4.4.2 Posouzení na MPS:

$$\delta_{max} = 103 mm \not\leq \delta_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{14750}{200} = 73 mm \dots \textbf{NEVYHOVUJE}$$

Je nutné zvětšit profil sloupu na HEB 260.

$$\delta_{max,HEB260} = 56 mm \leq \delta_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{14750}{200} = 73 mm \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

### 7.4.5 Patka sloupu

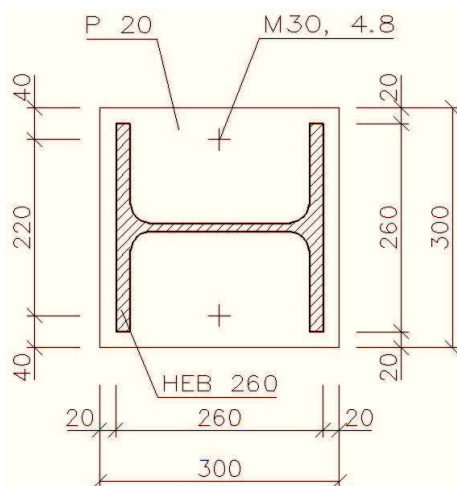
Kotvení sloupu k základovému bloku je navrženo kloubové.

#### 7.4.5.1 Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = 16,26 \text{ kN (tlak)}$$

$$V_{Ed} = 31,42 \text{ kN}$$

#### 7.4.5.2 Geometrie patky a materiál:



Obr. 138: Geometrie kloubové patky.

$$a = 300 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$t_p = 20 \text{ mm}$$

Beton: C 30/35

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

Ocel: S 235

$$f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 235 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{Výška podlití: } 50 \text{ mm} &< 0,2 * 300 = 60 \text{ mm} \\ &> 0,1 * 300 = 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

Rozměry základového bloku: Půdorysně – 0,75 x 0,75 m  
Výška – 0,72 m

$$\begin{aligned} \text{Započitatelné rozměry bloku: } a_1 &= \min(750; 5 * 300; 300 + 720; 5 * 300) = 750 \text{ mm} \\ b_1 &= \min(750; 5 * 300; 300 + 720; 5 * 300) = 750 \text{ mm} \end{aligned}$$



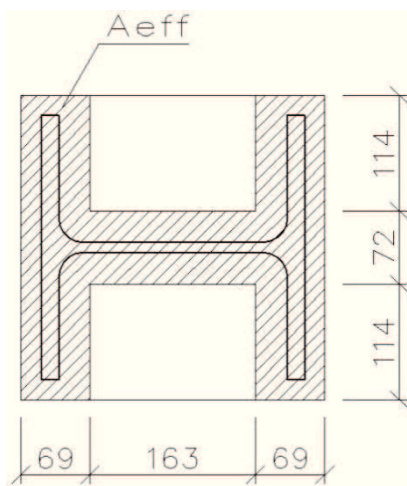
#### 7.4.5.3 Efektivní plocha patního plechu:

$$\text{Součinitel koncentrace napětí: } k_j = \sqrt{\frac{a_1 b_1}{ab}} = \sqrt{\frac{0,75 \cdot 0,75}{0,3 \cdot 0,3}} = 2,5$$

$$\text{Návrhová pevnost betonu: } f_j = \frac{2}{3} * \frac{k_j f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} * \frac{2,5 \cdot 30}{1,5} = 33,33 \text{ MPa}$$

$$\text{Přesah desky: } c = t_p \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 f_j}} = 0,02 * \sqrt{\frac{235 \cdot 10^6}{3 \cdot 33,33 \cdot 10^6}} = 31 \text{ mm}$$

$$\text{Efektivní plocha: } A_{eff} = 300 * 300 - 2 * 163 * 114 = 5,28 * 10^{-2} \text{ m}^2$$



Obr. 139: Efektivní plocha patního plechu.

#### 7.4.5.4 Posouzení patního plechu:

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_j = 5,28 * 10^{-2} * 33,33 * 10^6 = 1759,8 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 1759,8 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 16,26 \text{ kN} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

#### 7.4.5.5 Přenos posouvající síly:

$$\text{Síla přenášená třením: } F_{tř} = \mu * N_{Ed} = 0,2 * 16,26 = 3,252 \text{ kN}$$

$$F_{tř} = 3,25 \text{ kN} \leq V_{Ed} = 31,42 \text{ kN}$$

...je nutné navrhnout zarážku – navržen profil HEB 100

Potřebná výška zarážky v betonovém bloku:

$$h_{min} = \frac{V_{Ed} - F_{tř}}{l * f_{cd}} = \frac{31,42 * 10^3 - 3,25 * 10^3}{0,1 * 20 * 10^6} = 14 \text{ mm} \Rightarrow h = 20 \text{ mm}$$

Celková výška zarážky:

$$h = 50 + 20 = 70 \text{ mm}$$

#### 7.4.5.6 Posouzení svarů zarážky k patnímu plechu:

Navrženy svary o účinném rozměru 4 mm.

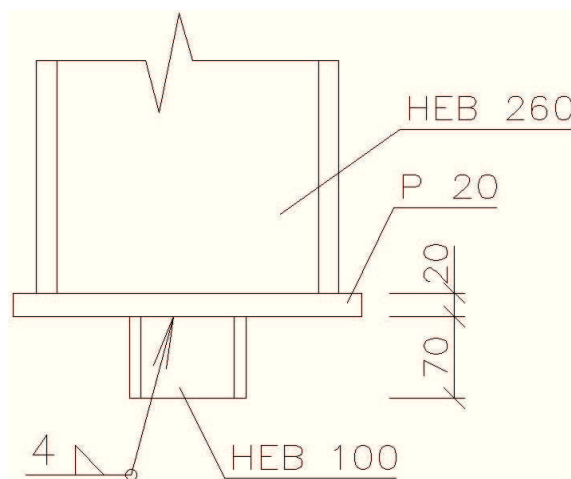
$$\tau_{||} = \frac{V_{Ed}}{2a(h - 2t_f)} = \frac{31,42 * 10^3}{2 * 0,004 * (0,1 - 2 * 0,01)} = 49,09 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{V_{Ed} * r}{2ab(h - t_f)} * \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{31,42 * 10^3 * 0,06}{2 * 4 * 0,1 * (0,1 - 0,01)} * \frac{1}{\sqrt{2}} = 18,5 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{18,5^2 + 3(18,5^2 + 46,09^2)} = 87,99 \text{ MPa}$$

$$87,99 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

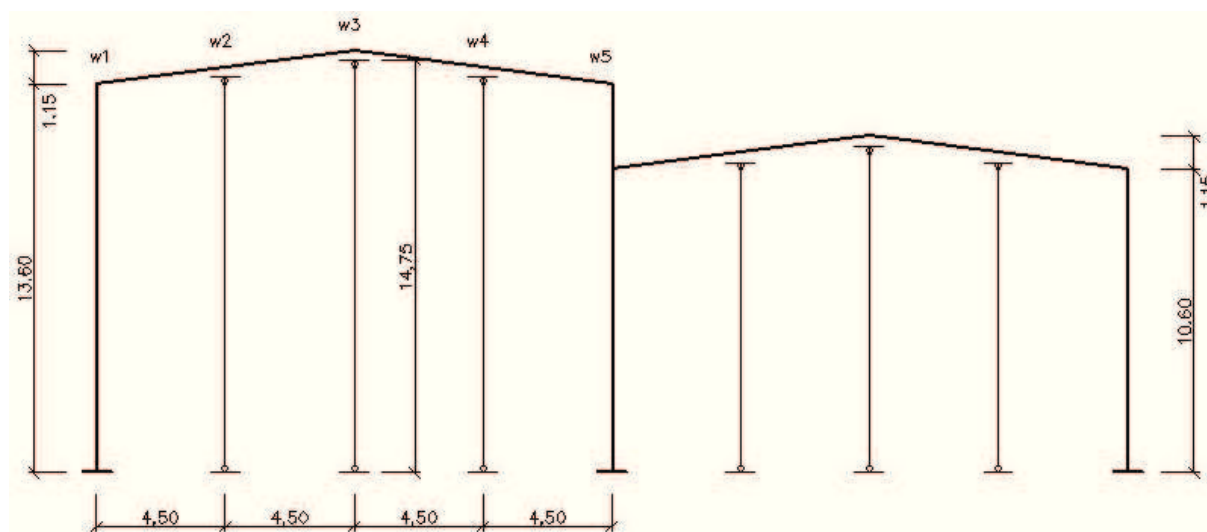
$$\tau_{\parallel} = 49,09 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} * 0,8 * 1,25} = 207,85 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$



Obr. 140: Připojení zarážky.

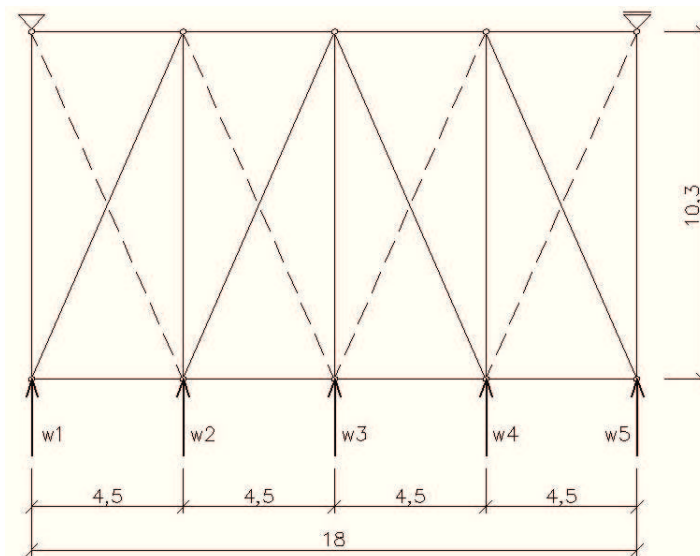
## 7.5 KRAJNÍ PŘÍČNÁ ZTUŽIDLA VE STŘEŠNÍ ROVINĚ

### 7.5.1 Geometrické schéma a zatížení reakcemi sloupků stěny



Obr. 141: Rozhodující část haly se stěnovými sloupky.

Při modelování se uvažuje pouze s působením tažených prutů, tlačené se považují za vybočené.



Obr. 142: Geometrické schéma ztužidla.

Při výpočtu zatížení rozhoduje zatížení při sání větru:

$$W_{1,k} = \frac{4,5}{2} * \frac{13,6}{2} * 0,784 = 11,99 \text{ kN}$$

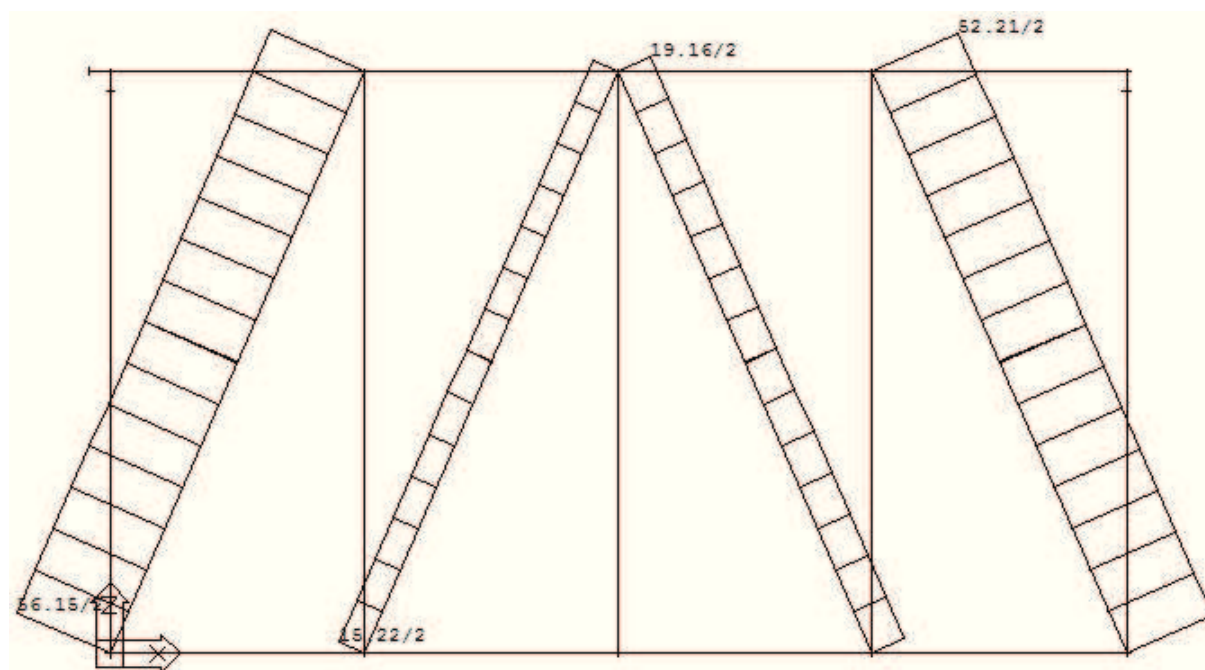
$$W_{2,k} = 4,5 * \frac{14,18}{2} * 0,784 = 25,01 \text{ kN}$$

$$W_{3,k} = 4,5 * \frac{14,75}{2} * 0,633 = 21,00 \text{ kN}$$

$$W_{4,k} = 4,5 * \frac{14,18}{2} * 0,633 = 20,19 \text{ kN}$$

$$W_{5,k} = 4,5 * \frac{13,6}{2} * 0,633 = 19,36 \text{ kN}$$

## 7.5.2 Návrh a posudek



Obr. 143: Normálové síly na diagonálách.

## 7.5.2.1 Návrh prutů:

Navrženy jsou kruhové trubky z oceli S235, které jsou ke styčnickovým plechům připojeny prostřednictvím plechů přivařených k trubkám. Ke styčnickovým plechům se spoj šroubuje. Navrženy jsou trubky RO 30x5.

## 7.5.2.2 Posouzení prutů:

Návrhová maximální tahová síla:  $N_{Ed,max} = 56,15 \text{ kN}$

Průřezové charakteristiky:

$$\begin{aligned} I_y &= 3,19 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 \\ i_y &= 0,009 \text{ m} \\ W_{pl,y} &= 3,16 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \\ I_t &= 6,14 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 \\ I_w &= 0 \text{ m}^6 \\ A &= 3,93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd} = 3,93 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6 = 92,35 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = 92,35 \text{ kN} \geq N_{Ed,max} = 56,15 \text{ kN} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

## 7.5.2.3 Posouzení styčnicku:

Návrh: 2 x M12 8.8, svar a = 3 mm dl. 50 mm.

Únosnost šroubů ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 10^6 \cdot 84,3 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 64,7 \text{ kN}$$
$$F_{v,Rd} = 64,7 \text{ kN} \geq N_{Ed,max} = 56,15 \text{ kN} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Únosnost v otlačení:

$$k_1 = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot \frac{e_0}{d_0}}{2,5} = \frac{2,8 \cdot \frac{30}{13}}{2,5} = 6,46 \right\} = 2,5$$
$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{360} = 2,22}{\frac{\frac{e_1}{3d_0}}{\frac{30}{3 \cdot 13}} = 0,77} \right\} = 0,77$$
$$F_{b,Rd} = 2 \cdot \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{2,5 \cdot 0,77 \cdot 360 \cdot 10^6 \cdot 0,012 \cdot 0,010}{1,25} = 133,06 \text{ kN}$$
$$F_{b,Rd} = 133,06 \text{ kN} \geq N_{Ed,max} = 56,15 \text{ kN} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Připojovací plech:

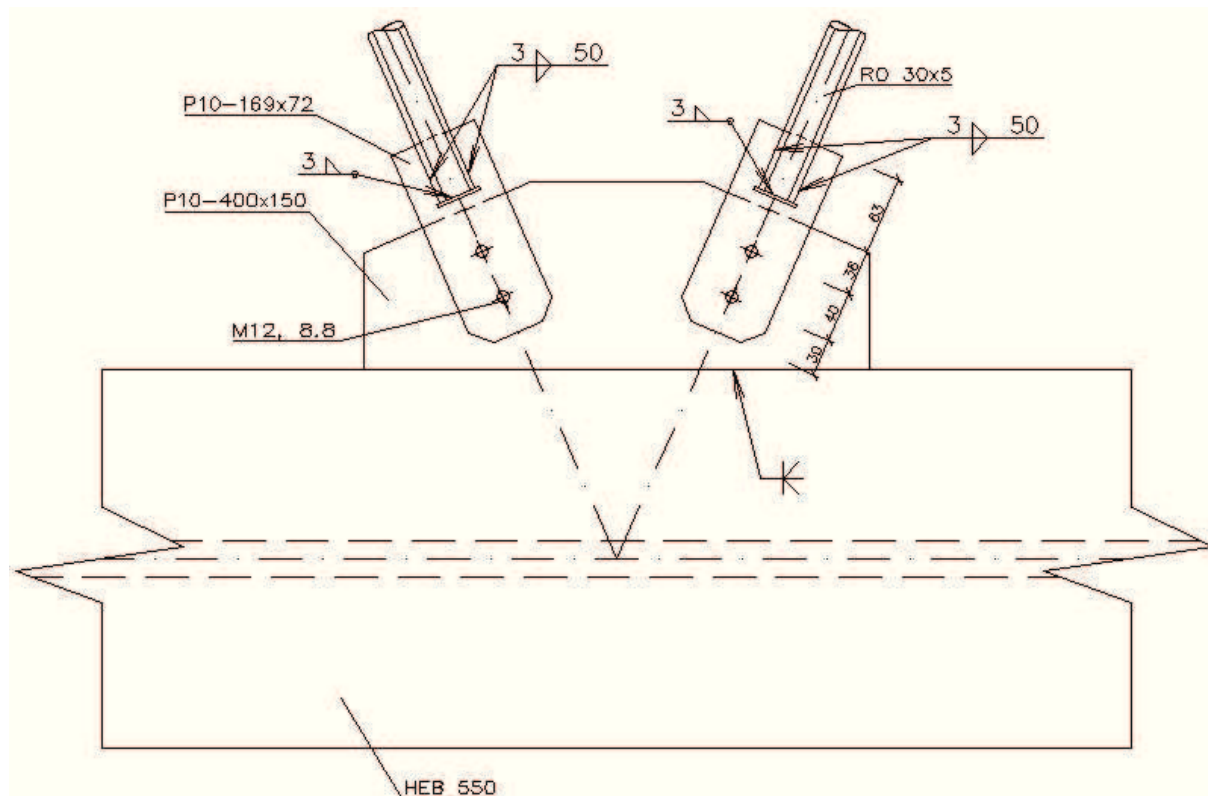
$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot (0,072 - 0,013) \cdot 0,01 \cdot 360 \cdot 10^6}{\gamma_{M2}} = 152,9 \text{ kN}$$
$$N_{u,Rd} = 152,9 \text{ kN} \geq N_{Ed,max} = 56,15 \text{ kN} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení svarů:

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed,max}}{4 \cdot a \cdot l} = \frac{56,15 \cdot 10^3}{4 \cdot 0,003 \cdot 0,05} = 93,58 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{0 + 3 * (0 + 93,58^2)} = 162,09 \text{ MPa} \leq \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$



*Obr. 144: Geometrie přípoje.*

## 7.6 STŘEDNÍ PŘÍČNÁ ZTUŽIDLA VE STŘEŠNÍ ROVINĚ

### 7.6.1 Analýza zatížení

#### 7.6.1.1 Síly od třením větru o povrch střechy:

$$A_{fr} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2b = 2 * 18 = 36 \text{ m} \\ 4h = 4 * 14,75 = 59 \text{ m} \end{array} \right\} = 36 * l \text{ m}$$

$$F_{fr,1} = F_{fr,5} = c_{fr} * q_p * A_{fr,1} = 0,02 * 0,56 * 36 * \frac{4,5}{2} = 0,90 \text{ kN}$$

$$F_{fr,2} = F_{fr,3} = F_{fr,4} = c_{fr} * q_p * A_{fr,2} = 0,02 * 0,56 * 36 * 4,5 = 1,81 \text{ kN}$$

#### 7.6.1.2 Zatížení imperfekcemi:

Celkový počet rámců: 19

Počet vnitřních příčných ztužidel: 3

Počet příčlů na jedno ztužidlo:  $m = \frac{19}{3} = 6,33$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{6,33}\right)} = 0,76$$

$$e_0 = \frac{\alpha_m * L}{500} = \frac{0,76 * 185,4}{500} = 281,8 \text{ mm}$$

$$\delta_q = \frac{L}{500} = \frac{185,4}{400} = 370,8 \text{ mm (bezpečný odhad deformace)}$$

$$N_{Ed,max} = 137 \text{ kN}$$

Ekvivalentní stabilizující síla:

$$q_d = \sum N_{Ed} * 5 * \frac{e_0 + \delta_q}{L^2} = 137 * 10^3 * 5 * \frac{0,282 + 0,371}{185,4^2} = 0,013 \text{ kN/m}$$

$$F_{im,1,d} = F_{im,5,d} = q_d * l_{rozn} = 0,013 * \frac{4,5}{2} = 0,03 \text{ kN}$$

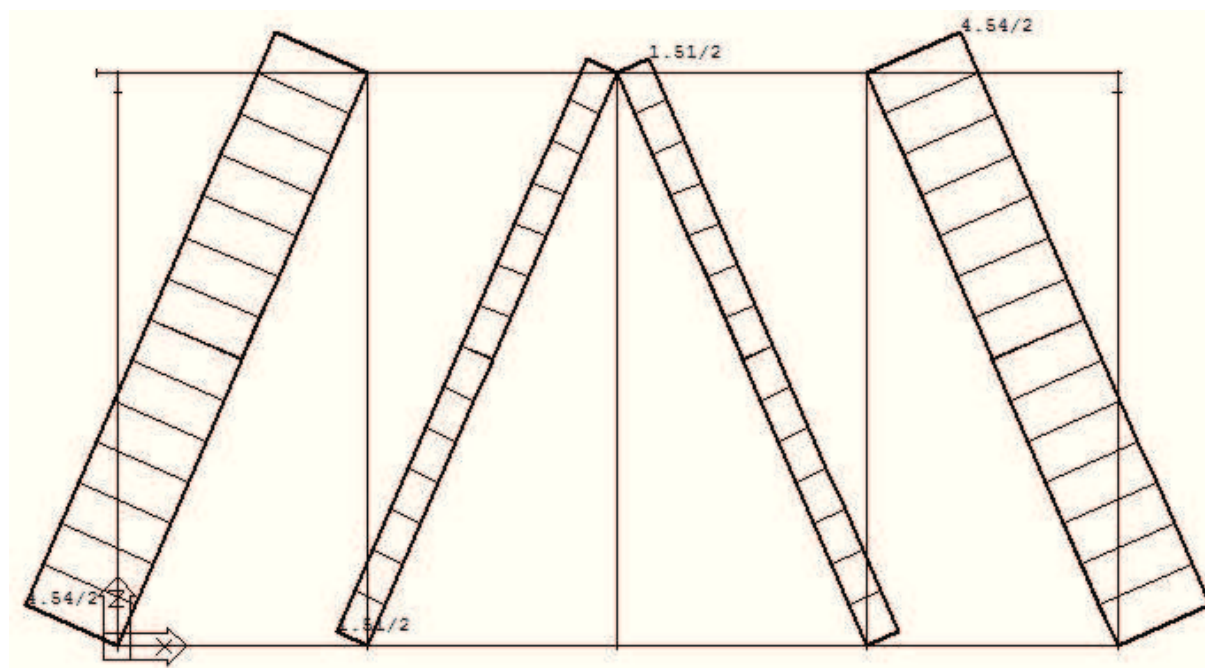
$$F_{im,2,d} = F_{im,3,d} = F_{im,4,d} = q_d * l_{rozn} = 0,013 * 4,5 = 0,06 \text{ kN}$$

7.6.1.3 Celkové síly do uzlů ztužidla:

$$N_1 = N_5 = F_{fr,1} + \frac{F_{im,1,d}}{\gamma_f} = 0,9 + \frac{0,03}{1,5} = 0,92 \text{ kN}$$

$$N_2 = N_3 = N_4 = F_{fr,2} + \frac{F_{im,2,d}}{\gamma_f} = 1,81 + \frac{0,06}{1,5} = 1,85 \text{ kN}$$

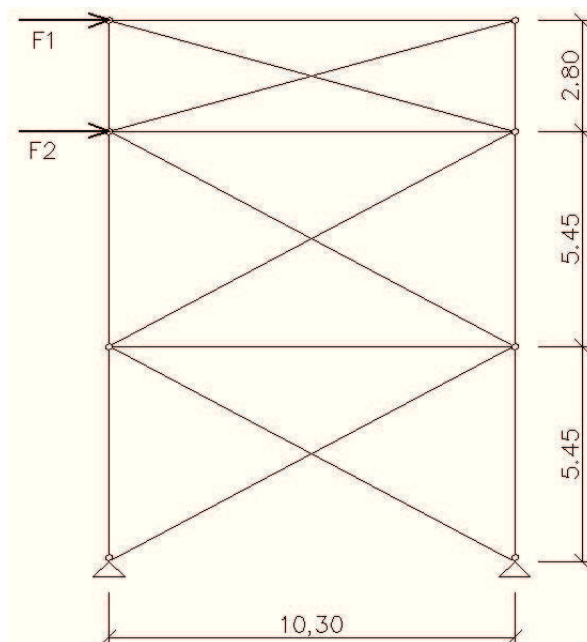
## 7.6.2 Vnitřní síly na prutech ztužidla



Obr. 145: Tahové síly v prutech ztužidla.

Protože jsou síly výrazně menší, lze použít stejných profilů jako u okrajových ztužidel.

## 7.7 PODÉLNÉ ZTUŽIDLO V ROVINĚ OBVODOVÉ STĚNY – ČÁST 1



Obr. 146: Geometrie stěnového ztužidla.

### 7.7.1 Analýza zatížení

#### 7.7.1.1 Zatížení od stěnových sloupků:

$$R = 46,30 \text{ kN} \text{ (reakce střešního ztužidla)}$$

#### 7.7.1.2 Zatížení imperfekcemi:

Počet rámců haly: 19

Počet stěnových ztužidel: 5

$$m = \frac{19}{5} = 3,6$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{3,6}\right)} = 0,799$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{13,6}} = 0,542$$

$$\frac{2}{3} \leq \alpha_h < 1$$

$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m = \frac{1}{200} * 1 * 0,799 = 0,004$$

$$N_{Ek} = 216,68 \text{ kN} \text{ (maximální normálová síla ve sloupu bez vlivu větru)}$$

Ekvivalentní stabilizující síla:

$$N = \phi * N_{Ek} = 0,004 * 216,68 = 0,867 \text{ kN}$$



## 7.7.1.3 Podélná vodorovná síla od jeřábu:

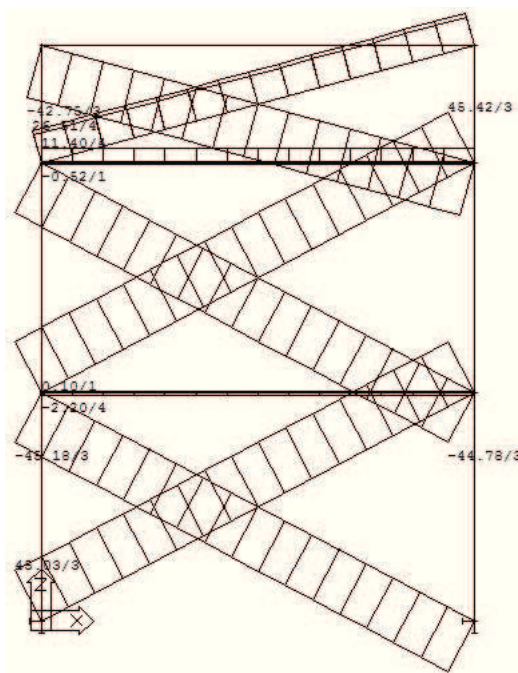
$$H_L = 10,7 \text{ kN}$$

## 7.7.1.4 Celkové zatížení na ztužidlo:

$$F_1 = R + N = 46,30 + 0,87 = 47,17 \text{ kN}$$

$$F_2 = H_L = \pm 10,7 \text{ kN}$$

## 7.7.2 Vnitřní síly



Obr. 147: Normálové síly na prutech ztužidla.

$$N_{Ed} = 45,18 \text{ kN (tlak)}$$

## 7.7.3 Návrh a posouzení prutů

## 7.7.3.1 Návrh:

Navrženy jsou bezešvé trubky RO 177,8 x 5.

Průřezové charakteristiky:

$$I_y = 1,01 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$i_y = 0,061 \text{ m}$$

$$W_{pl,y} = 1,49 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$I_t = 2,03 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_w = 0 \text{ m}^6$$

$$A = 2,71 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

## 7.7.3.2 Posouzení – rozhoduje vzpěrný tlak:

Největší vzpěrná délka:

$$L_{cr} = 11,65 \text{ m}$$

Štíhlosti při vybočení:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{11,65}{0,061} = 190,9$$

Poměrná štíhlost a součinitel vzpěrnosti:

$$\lambda_1 = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 * 1 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{190,9}{93,9} = 2,03$$

$$\phi = 0,5 \left( 1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right) = 0,5 * (1 + 0,21 * (2,03 - 0,2) + 2,03^2) = 2,75$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{2,75 + \sqrt{2,75^2 - 2,03^2}} = 0,217$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,217 * 2,71 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1,00} = 138,2 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 138,2 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 45,18 \text{ kN} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

## 7.7.3.3 Posouzení styčnicku:

Návrh: 2 x M12 8.8, svar a = 3 mm dl. 50 mm.

Únosnost šroubů ve střihu:

$$F_{v,Rd} = 2 * \frac{\alpha_v * f_{ub} * A}{\gamma_{M2}} = 2 * \frac{0,6 * 800 * 10^6 * 84,3 * 10^{-6}}{1,25} = 64,7 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 64,7 \text{ kN} \geq N_{Ed,max} = 45,18 \text{ kN} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Únosnost v otláčení:

$$k_1 = \min \left\{ \frac{2,8 * \frac{e_0}{d_0}}{2,5} = \frac{2,8 * \frac{30}{13}}{2,5} = 6,46 \right\} = 2,5$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{360} = 2,22}{\frac{e_1}{3d_0} = \frac{30}{3 * 13} = 0,77} \right\} = 0,77$$

$$F_{b,Rd} = 2 * \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = 2 * \frac{2,5 * 0,77 * 360 * 10^6 * 0,012 * 0,010}{1,25} = 133,06 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 133,06 \text{ kN} \geq N_{Ed,max} = 45,18 \text{ kN} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Připojovací plech:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * (0,188 - 0,013) * 0,01 * 360 * 10^6}{1,25} = 453,6 \text{ kN}$$

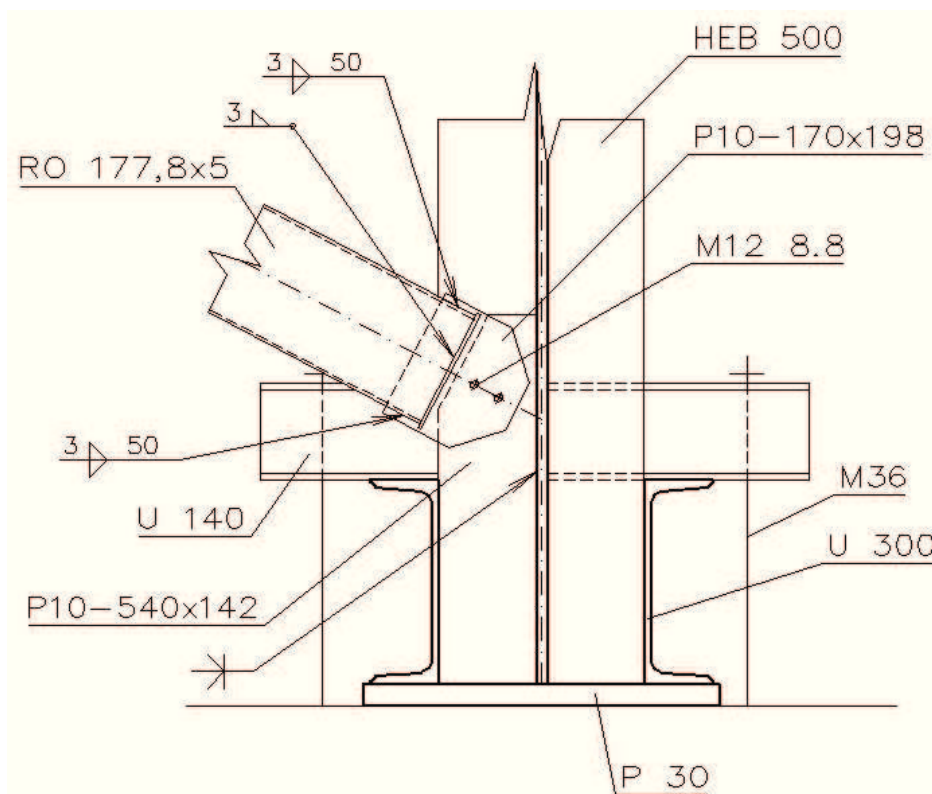
$$N_{u,Rd} = 453,6 \text{ kN} \geq N_{Ed,max} = 45,18 \text{ kN} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení svarů:

$$\tau_{||} = \frac{N_{Ed,max}}{4 * a * l} = \frac{45,18 * 10^3}{4 * 0,003 * 0,05} = 75,3 \text{ MPa}$$

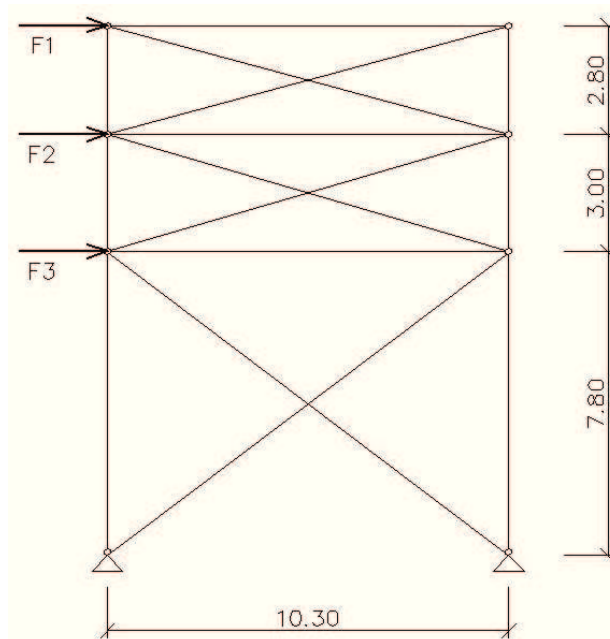
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{0 + 3 * (0 + 75,3^2)} = 130,4 \text{ MPa} \leq \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$



Obr. 148: Geometrie přípoje v místě patky sloupu.

## 7.8 PODÉLNÉ ZTUŽIDLO V ROVINĚ STŘEDNÍCH SLOUPŮ



Obr. 149: Geometrie středového ztužidla.

### 7.8.1 Analýza zatížení

#### 7.8.1.1 Zatížení od stěnových sloupků:

$$R_1 = 51,26 \text{ kN} \text{ (reakce střešního ztužidla v části 1)}$$

$$R_2 = 46,30 \text{ kN} \text{ (bezpečně od části 2)}$$

#### 7.8.1.2 Zatížení imperfekcemi:

$$\text{Počet rámců haly:} \quad 19$$

$$\text{Počet stěnových ztužidel:} \quad 5$$

$$m = \frac{19}{5} = 3,6$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{3,6}\right)} = 0,799$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{13,6}} = 0,542$$

$$\frac{2}{3} \leq \alpha_h < 1$$

$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m = \frac{1}{200} * 1 * 0,799 = 0,004$$

$$N_{Ek} = 352,73 \text{ kN} \text{ (maximální normálová síla ve sloupu bez vlivu větru)}$$

Ekvivalentní stabilizující síla:

$$N = \phi * N_{Ek} = 0,004 * 352,73 = 1,41 \text{ kN}$$

#### 7.8.1.3 Podélná vodorovná síla od jeřábu:

$$H_L = 10,7 \text{ kN}$$

#### 7.8.1.4 Celkové zatížení na ztužidlo:

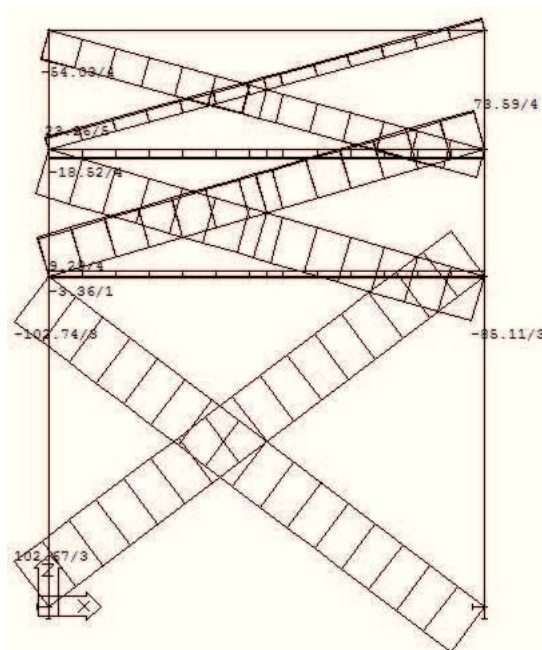
$$F_1 = R_1 + N = 51,26 + 1,41 = 52,7 \text{ kN}$$

$$F_{2,1} = R_2 + N = 46,30 + 1,41 = 47,7 \text{ kN}$$

$$F_{2,2} = H_L = \pm 10,7 \text{ kN}$$

$$F_3 = H_L = \pm 10,7 \text{ kN}$$

## 7.8.2 Vnitřní síly



Obr. 150: Normálové síly na prutech ztužidla.

$$N_{Ed} = 102,74 \text{ kN (tlak)}$$

## 7.8.3 Návrh a posouzení prutů

### 7.8.3.1 Návrh:

Navrženy jsou bezešvé trubky RO 177,8 x 5.

Průřezové charakteristiky:

$$I_y = 1,01 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$i_y = 0,061 \text{ m}$$

$$W_{pl,y} = 1,49 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$I_t = 2,03 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_w = 0 \text{ m}^6$$

$$A = 2,71 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

### 7.8.3.2 Posouzení – rozhoduje vzpěrný tlak:

Největší vzpěrná délka:

$$L_{cr} = 12,09 \text{ m}$$

Štíhlosti při vybočení:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{12,09}{0,061} = 198,2$$

Poměrná štíhlost a součinitel vzpěrnosti:

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot 1 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{198,2}{93,9} = 2,11$$

$$\phi = 0,5 \left( 1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right) = 0,5 * (1 + 0,21 * (2,11 - 0,2) + 2,11^2) = 2,92$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{2,92 + \sqrt{2,92^2 - 2,11^2}} = 0,202$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,202 * 2,71 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1,00} = 128,6 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 128,6 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 102,74 \text{ kN} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

### 7.8.3.3 Posouzení styčnicku:

Návrh: 4 x M12 8.8, svar a = 3 mm dl. 50 mm.

Únosnost šroubů ve střihu:

$$F_{v,Rd} = 4 * \frac{\alpha_v * f_{ub} * A}{\gamma_{M2}} = 4 * \frac{0,6 * 800 * 10^6 * 84,3 * 10^{-6}}{1,25} = 129,5 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 129,5 \text{ kN} \geq N_{Ed,max} = 102,74 \text{ kN} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Únosnost v otláčení:

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 * \frac{e_0}{d_0} = 2,8 * \frac{30}{13} = 6,46 \right\} = 2,5$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{360} = 2,22 \right. \\ \left. \frac{e_1}{3d_0} = \frac{30}{3 * 13} = 0,77 \right\} = 0,77$$

$$F_{b,Rd} = 4 * \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = 4 * \frac{2,5 * 0,77 * 360 * 10^6 * 0,012 * 0,010}{1,25} = 266,12 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 266,12 \text{ kN} \geq N_{Ed,max} = 102,74 \text{ kN} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Připojovací plech:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * (0,188 - 2 * 0,013) * 0,01 * 360 * 10^6}{1,25} = 419,9 \text{ kN}$$

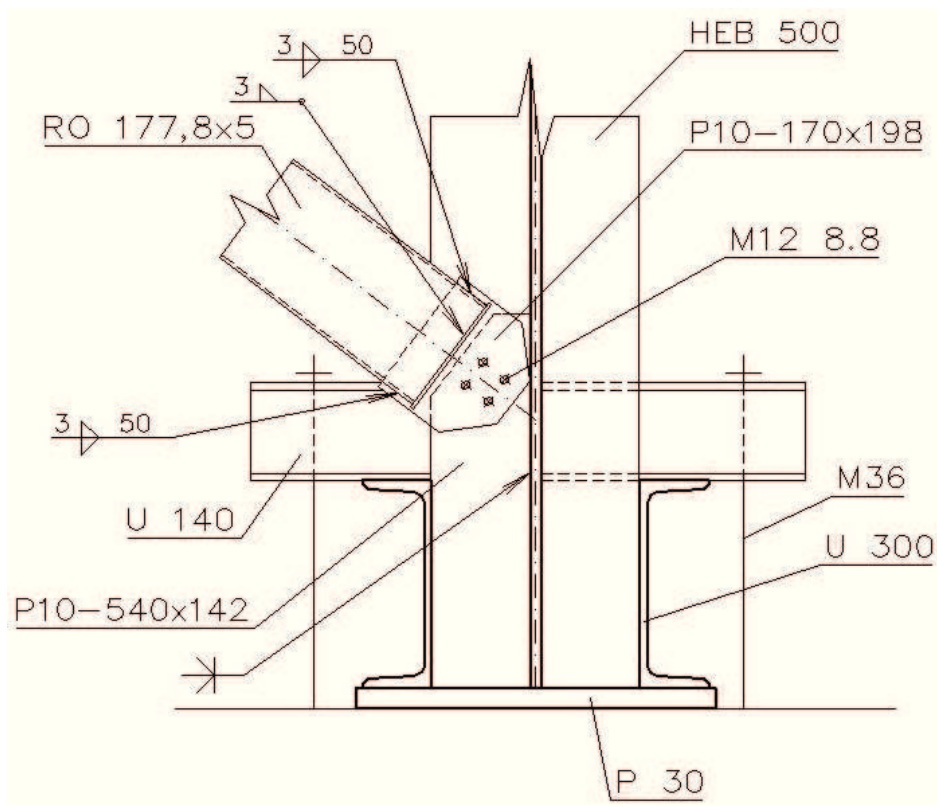
$$N_{u,Rd} = 419,9 \text{ kN} \geq N_{Ed,max} = 102,74 \text{ kN} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení svarů:

$$\tau_{||} = \frac{N_{Ed,max}}{4 * a * l} = \frac{102,74 * 10^3}{4 * 0,003 * 0,05} = 171,2 \text{ MPa}$$

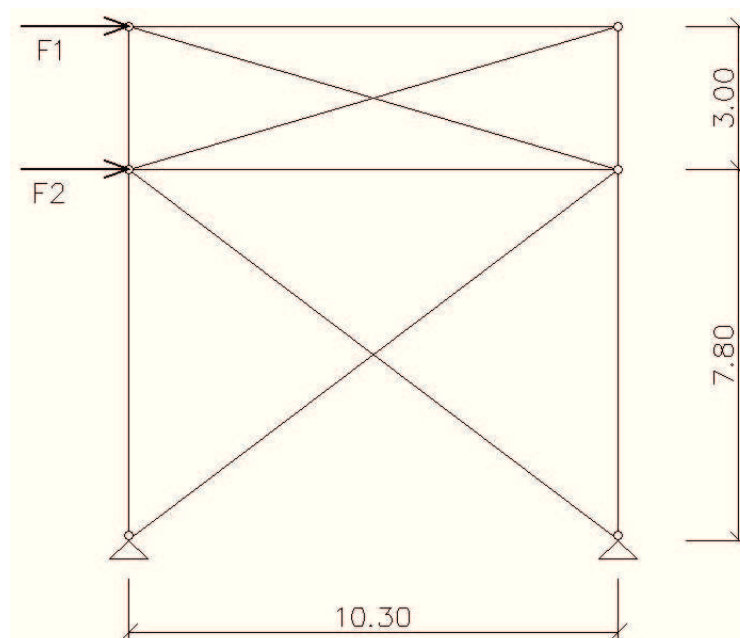
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{0 + 3 * (0 + 171,2^2)} = 296,5 \text{ MPa} \leq \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$



*Obr. 151: Geometrie přípoje v místě patky sloupu.*

## 7.9 PODÉLNÉ ZTUŽIDLO V ROVINĚ OBVODOVÉ STĚNY – ČÁST 2



*Obr. 152: Geometrie středového ztužidla.*



### 7.9.1 Analýza zatížení

#### 7.9.1.1 Zatížení od stěnových sloupků:

$$R = 51,26 \text{ kN} \quad (\text{reakce střešního ztužidla v části 1 – bezpečně})$$

#### 7.9.1.2 Zatížení imperfekcemi:

$$\text{Počet rámců haly:} \quad 18$$

$$\text{Počet stěnových ztužidel:} \quad 5$$

$$m = \frac{18}{5} = 3,6$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{3,6}\right)} = 0,799$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{10,8}} = 0,61$$

$$\frac{2}{3} \leq \alpha_h < 1$$

$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m = \frac{1}{200} * 1 * 0,799 = 0,004$$

$$N_{Ek} = 204,11 \text{ kN} \quad (\text{maximální normálová síla ve sloupu bez vlivu větru})$$

Ekvivalentní stabilizující síla:

$$N = \phi * N_{Ek} = 0,004 * 204,11 = 0,82 \text{ kN}$$

#### 7.9.1.3 Podélná vodorovná síla od jeřábu:

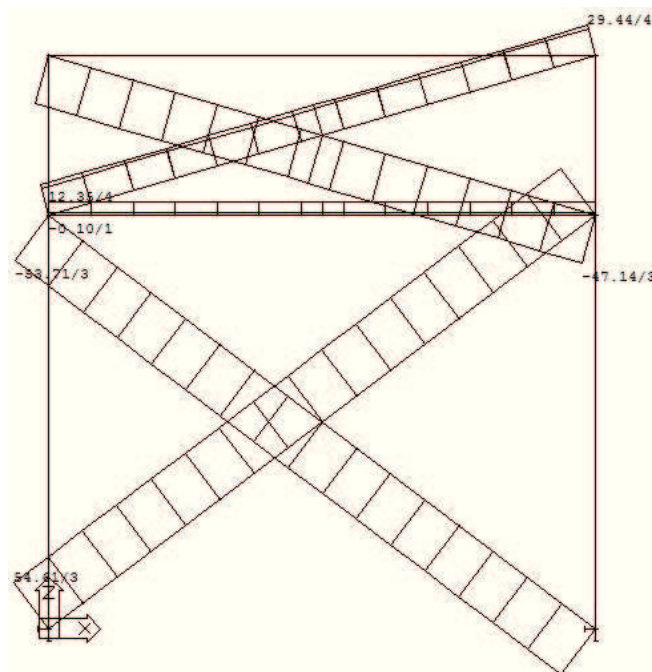
$$H_L = 10,7 \text{ kN}$$

#### 7.9.1.4 Celkové zatížení na ztužidlo:

$$F_1 = R + N = 51,26 + 0,82 = 52,08 \text{ kN}$$

$$F_2 = H_L = \pm 10,7 \text{ kN}$$

### 7.9.2 Vnitřní síly



Obr. 153: Normálové síly na prutech ztužidla.

$$N_{Ed} = 54,61 \text{ kN (tah)}$$

$$N_{Ed} = 53,71 \text{ kN (tlak)}$$

### 7.9.3 Návrh a posouzení prutů

Ztužidlo má stejnou geometrii jako ztužidlo v rovině středových sloupů, kromě toho, že neobsahuje nejvyšší pole s diagonálami. Vnitřní síly na jednotlivých prutech jsou menší, proto ztužidlo **VYHOVÍ**.

### 7.10 PŘENOS REAKCE ZTUŽIDEL

Vodorovné reakce v podélném směru jsou menší, než maximální vodorovná reakce v příčném směru. Reakce se do základových bloků přenesou prostřednictvím tření – není nutno navrhovat zarážku v podélném směru.

### 7.11 POSOUZENÍ OKAPOVÉ VAZNICE – NEVÍCE ZATÍŽENÁ (ČÁST 2, PRAVÝ OKAP)

#### 7.11.1 Zatížení

7.11.1.1 Zatížení od střešního ztužidla:

$$F_{Ed,1} = R_{ed} = 76,88 \text{ kN (reakce od střešního ztužidla)}$$

$$F_{Ed,2} = \frac{N}{2} = \frac{1,41}{2} = 0,705 \text{ kN (Rámové imperfekce z poloviny přenášené délky)}$$

$$\text{CELKEM: } N_{Ed} = F_{Ed,1} + F_{Ed,2} = 76,88 + 0,705 = 77,58 \text{ kN}$$

## 7.11.1.2 Zatížení ve svislém směru:

- Tíhové maximální (stálé od střešního pláště + sníh + tlak větru):
  - Zatěžovací šířka  $0,5 + 0,3 = 0,8 \text{ m}$
  - $q_{Ed} = 0,359 * 0,8 + 1,2 * 0,8 + 0,19 * 0,8 = 1,39 \text{ kN/m}$
- Tíhové minimální – sání větru (stálé od střešního pláště + sání větru):
  - $q_{Ed} = 0,359 * 0,8 - 0,974 * 0,8 = -0,492 \text{ kN/m}$

## 7.11.2 Posouzení

## 7.11.2.1 Tíhové zatížení:

- Zatížení připadající na osovou sílu:  $q_N = \frac{77,58}{30}(2,05 - 1,98) = 0,18 \text{ kNm}^{-1}$
- $q_{Ed} = 1,39 + 0,18 = 1,57 \text{ kNm}^{-1} \leq q_{Rd} = 1,98 \text{ kNm}^{-1} \dots \textbf{VYHOVUJE}$

## 7.11.2.2 Zatížení sáním:

- Zatížení připadající na osovou sílu:  $q_N = \frac{77,58}{30}(1,46 - 1,29) = 0,44 \text{ kNm}^{-1}$
- $q_{Ed} = 0,49 + 0,44 = 0,93 \text{ kNm}^{-1} \leq q_{Rd} = 1,29 \text{ kNm}^{-1} \dots \textbf{VYHOVUJE}$

## 7.12 KONZOLA JEŘÁBOVÉ DRÁHY

## 7.12.1 Zatížení

Dominantní zatížení je svislá reakce od nosníků jeřábové dráhy. Dále na konzolu působí vodorovná podélná reakce jeřábové dráhy.

$$F_y = H_L = 10,7 \text{ kN}$$

$$F_z = 290,8 \text{ kN}$$

## 7.12.2 Návrh průřezu

Navržen je profil IPE 600, ocel S 235.

## 7.12.2.1 Průřezové charakteristiky:

$$A = 1,56 * 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$A_{v,z} = 7,37 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{v,y} = 6,86 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = 9,21 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_z = 3,39 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_t = 1,65 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_w = 2,9 * 10^{-6} \text{ m}^6$$

$$W_{pl,y} = 3,52 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 4,86 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$i_y = 0,243 \text{ m}$$

$$i_z = 0,046 \text{ m}$$

## 7.12.2.2 Zatřídění průřezu:

$$\text{Stojina: } \frac{d}{t_w} = \frac{514}{12} = 42,8 \leq 72\varepsilon = 72 \dots \text{třída 1}$$

$$\text{Pásnice: } \frac{c}{t_f} = \frac{110}{19} = 5,79 \leq 10\varepsilon = 10 * 1 = 10 \dots \text{třída 1}$$

## 7.12.3 Vnitřní síly v konzole

$$M_{Ed,y} = 290,8 * 0,45 = 130,86 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,z} = 290,8 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,z} = 10,7 * 0,45 = 4,82 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,y} = 10,7 \text{ kN}$$

## 7.12.4 Posouzení průřezu

## 7.12.4.1 Ohyb ve dvou rovinách:

$$M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 3,52 * 10^{-3} * \frac{235 * 10^6}{1} = 827,2 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,z,Rd} = W_{pl,z} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 4,86 * 10^{-4} * \frac{235 * 10^6}{1} = 114,21 \text{ kNm}$$

$$\left( \frac{M_{Ed,y}}{M_{pl,y,Rd}} \right)^2 + \frac{M_{Ed,z}}{M_{pl,z,Rd}} \leq 1$$

$$\left( \frac{130,86}{827,20} \right)^2 + \frac{4,82}{114,21} = 0,07 \leq 1 \dots \text{VYHOVUJE}$$

## 7.12.4.2 Vliv smyku na ohyb:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{7,37 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1 * \sqrt{3}} = 999,9 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z} = 290,8 \text{ kN} \leq \frac{1}{2} V_{pl,z,Rd} = \frac{1}{2} 999,9 = 499,95 \text{ kN}$$

Není potřeba snížit ohybovou únosnost vlivem smyku.

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{6,86 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1 * \sqrt{3}} = 930,7 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,y} = 10,70 \text{ kN} \leq \frac{1}{2} V_{pl,y,Rd} = \frac{1}{2} 930,7 = 465,4 \text{ kN}$$

Není potřeba snížit ohybovou únosnost vlivem smyku.

## 7.12.4.3 Smyk:

$$\frac{V_{Ed,z}}{V_{pl,z,Rd}} = \frac{290,80}{999,9} = 0,29 \leq 1 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

$$\frac{V_{Ed,y}}{V_{pl,y,Rd}} = \frac{10,70}{930,7} = 0,01 \leq 1 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

## 7.12.4.4 Ztráta stability klopením:

$$L_{LT} = 700 \text{ mm}$$

$$k_z = 1$$

$$k_w = 1$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L_{LT}} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1 * 0,7} \sqrt{\frac{210 * 10^9 * 2,9 * 10^{-6}}{81 * 10^9 * 1,65 * 10^{-6}}} = 9,58 \Rightarrow \text{uvažujeme } C_{1,1}$$

$$C_1 = C_{1,1} = 1,85$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} = \frac{1,85}{1} \sqrt{1 + 9,58^2} = 17,81$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L_{LT}} = 17,81 \frac{\pi \sqrt{210 * 10^9 * 3,39 * 10^{-5} * 81 * 10^9 * 1,65 * 10^{-6}}}{0,7} = 77966 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{3,52 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{77966 * 10^3}} = 0,103$$

$$\left. \begin{array}{l} \bar{\lambda}_{LT} = 0,103 \leq \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \\ \frac{M_{Ed}}{M_{cr}} = 0,002 \leq \bar{\lambda}_{LT,0}^2 = 0,16 \end{array} \right\} \textbf{Konzolu není potřeba posuzovat na klopení}$$

## 7.12.5 Posouzení připojení

Připojení bude provedeno ve výrobně koutovými svary. Navrženo obvaření konzoly svarem o účinném rozměru  $a = 8 \text{ mm}$ .

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 * a * h_w} = \frac{290,8 * 10^3}{2 * 0,008 * 0,562} = 32,34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{M_{Ed}}{W_{el,w}} = \frac{V_{Ed} * e}{2 * \frac{a * h^2}{6}} = \frac{130,86 * 10^3}{2 * \frac{0,008 * 0,562^2}{6}} = 155,36 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{155,36^2 + 3(32,34^2 + 155,36^2)} = 315,73 \text{ MPa}$$

$$315,73 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

**7.12.6 Posouzení stěny sloupu a výztuh:****7.12.6.1 Posouzení stěny sloupu na smyk:**

Namáhání smykového pole:

$$z_{min} = h_{HEB500} - 2 * \frac{1}{2} * t_f = 500 - 2 * \frac{1}{2} * 28 = 472 \text{ mm}$$

$$V_{wp,Ed} = \frac{M_{Ed}}{z_{min}} = \frac{130,86 * 10^3}{0,472} = 277,25 \text{ kN}$$

Únosnost smykového pole:

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f = 23900 - 2 * 300 * 28 + (14,5 + 2 * 27) * 28$$

$$A_v = 9,02 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 * f_{y,we} * A_{vc}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{0,9 * 235 * 10^6 * 9,02 * 10^{-3}}{\sqrt{3} * 1} = 1101,4 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$V_{wp,Ed} = 277,25 \text{ kN} \leq V_{wp,Rd} = 1101,4 \text{ kN} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

**7.12.6.2 Posouzení vodorovných výztuh:**

Navržena oboustranná výztuha tl. 26 mm.

$$d_s = 581 \text{ mm} \text{ (osová vzdálenost dvojice vodorovných výztuh)}$$

$$b = 2 * b_1 = 2 * 140 = 280 \text{ mm} \text{ (šířka oboustranné výztuhy)}$$

$$M_{pl,S,Rd} = b * t_s * f_{yd} * d_s = 0,28 * 0,026 * 235 * 10^6 * 0,581 = 993,97 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,f,Rd} = N_{f,Rd} * z_{min} = A_f * f_{yd} * z_{min} = (0,3 * 0,028) * 235 * 10^6 * 0,472 = 931,72 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,S,Rd} = 993,97 \text{ kNm} \geq M_{pl,f,Rd} = 931,72 \text{ kNm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

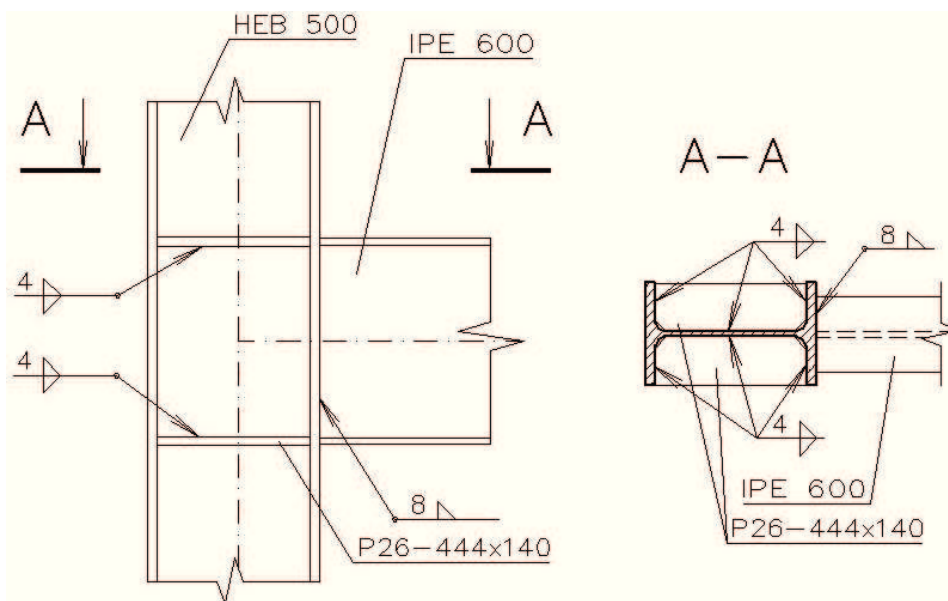
**7.12.6.3 Posouzení svarů připojujících výztuhu ke stojině:**

Navržen svar s účinným rozměrem a = 4 mm.

$$V_{ws,Ed} = \frac{M_{Ed}}{d_s} = \frac{130,86 * 10^3}{0,581} = 225,23 \text{ kN}$$

$$\tau_{||,a} = \frac{V_{ws,Ed}}{4 * a * l} = \frac{225,23 * 10^3}{4 * 0,004 * (0,5 - 2 * 0,028)} = 31,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{||,a} = 31,7 \text{ MPa} \leq \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

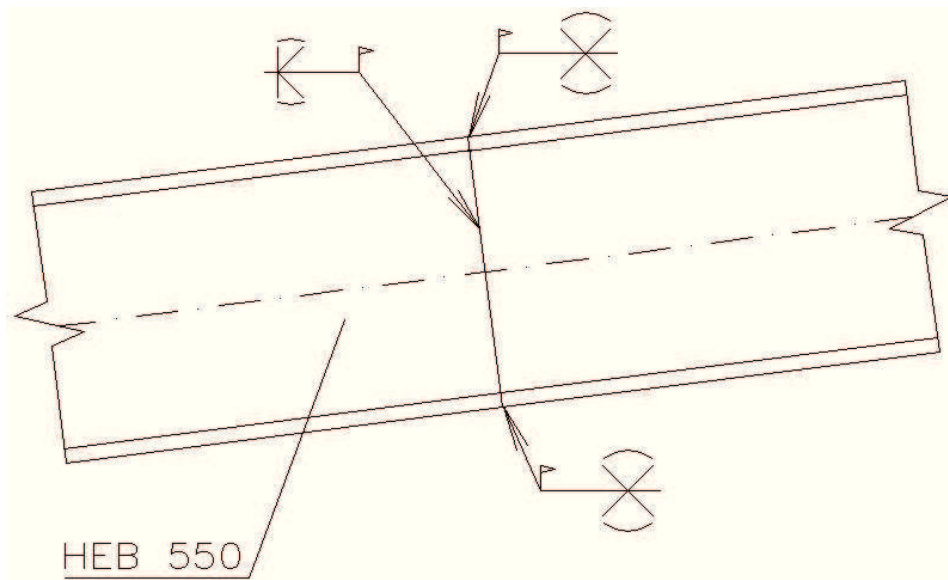


Obr. 154: Provedení přípoje.

### 7.13 MONTÁŽNÍ PŘÍPOJ PŘÍČLE A SLOUPU

Montážní přípoj příčle a sloupu bude proveden oboustranným V nebo půl V svarem s převýšením přímo při montáži. Takto provedený svar má stejnou únosnost jako připojovaný prvek, není tedy nutno jej posuzovat.

Umístění přípoje je 1 metr od vnitřní pásnice sloupu.

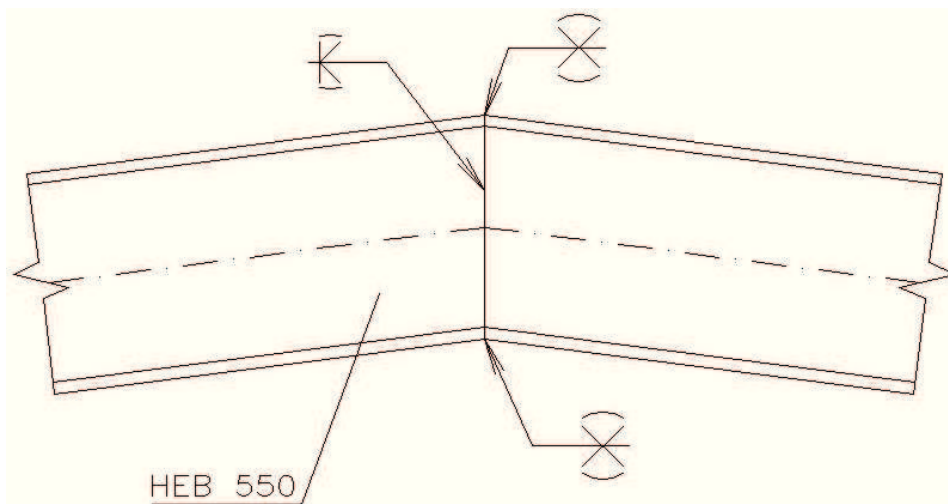


Obr. 155: Montážní přípoj příčle a sloupu.



### 7.14 HŘEBENOVÉ SPOJENÍ PŘÍČLÍ

Vrcholový přípoj příčlí bude proveden oboustranným V nebo půl V svarem s převýšením ve výrobě. Takto provedený svar má stejnou únosnost jako připojovaný prvek, není tedy nutno jej posuzovat.



Obr. 156: Hřebenové spojení příčlí.

## 8 TECHNICKÁ ZPRÁVA

### 8.1 Úvod

Předmětem této dokumentace je návrh a statický posudek dvoulodní haly určené k expedici hutních výrobků, která je tvořena ocelovou nosnou konstrukcí. Dále je předmětem návrh a statický posudek jeřábové dráhy, která se nachází v obou lodích, avšak v různé výškové úrovni. Dráha je určena pro mostový jeřáb o nosnosti 12,5 tuny.

### 8.2 POPIS KONSTRUKCÍ

Hala sestává ze dvou různě vysokých lodí, které mají půdorysný tvar jednoduchého obdélníku s výrazně převládající délkou. Obě lodě k sobě přiléhají celou délkou stěny a jsou odděleny vnitřní řadou sloupů. Zastřešení haly je řešeno sedlovým tvarem střechy na obou lodích. Výška haly od podlahy po hřeben je ve vyšší lodi (dále část 1) 14,741 metrů, v nižší lodi (dále část 2) je to 11,741 metrů. Půdorysné rozměry haly jsou 24 x 185,4 metrů. Hlavní nosná konstrukce haly je svařovaná rámová, provedená z válcovaných profilů HEB. Těchto rámu se v hale nachází celkem 19 s osovou vzdáleností 10,3 metrů. Stěnový obvodový plášť je tvořen stěnovými kazetami s vloženou tepelnou izolací a s trapézovým plechem na vnějším líci. Střešní plášť je tvořen podkladním trapézovým plechem, na kterém je tepelná izolace a fóliová hydroizolace. Trapézový plech zajišťuje roznos



zatížení do tenkostěnných vaznic profilu „Z“, která zatížení dále přenáší do jednotlivých ráků hlavní nosné konstrukce. Kotvení ráků k základovým patkám je provedeno jako vetknutý přípoj.

Jeřábové dráhy jsou tvořeny hlavními (svislými) nosníky, které jsou symetrické ke dvěma hlavním osám, a které jsou svařované do tvaru písmene „I“. Pro zachycení účinků vodorovných příčných sil od pojíždění jeřábu je navržen vodorovný příhradový nosník, který je kotven v úrovni horní pásnice hlavního nosníku ke sloupům hlavní nosné konstrukce haly. Podepření hlavního nosníku je realizováno prostřednictvím konzol z profilu IPE, které jsou přivařeny ke sloupům hlavního nosného systému haly. Podepření vodorovného nosníku je provedeno ve třetinách rozpětí pásového prutu pomocí šikmých vzpěr, které jsou v patě kotveny k výztuhám hlavního nosníku.

### 8.2.1 Údaje o zatížení

Užitná zatížení:

- Užitné zatížení nepochůzí střechy:  $0,75 \text{ kNm}^{-2}$

Stálá zatížení:

- Střešní plášť:  $0,266 \text{ kNm}^{-2}$
- Stěnový plášť:  $0,312 \text{ kNm}^{-2}$

Zatížení klimatická:

- Sníh (sněhová oblast II):  $0,8 \text{ kNm}^{-2}$
- Vítr:  $0,56 \text{ kNm}^{-2}$

Zatížení od jeřábu:

- Maximální svislá reakce jeřábové dráhy:  $192,79 \text{ kN}$
- Maximální podélná vodorovná reakce:  $10,7 \text{ kN}$
- Maximální příčná vodorovná reakce:  $21 \text{ kN}$

### 8.2.2 Svislé konstrukce

Sloupy ráků jsou navrženy z válcovaných profilů HEB 500. V patě jsou sloupy připojeny k základovým patkám pomocí vetknutého spoje. V poli je svarově připojena konzola jeřábových drah, která je z profilu IPE 600. V hlavě je provedeno rámové připojení příčlí. U sloupů vnitřní řady je rámové připojení příčle provedeno i v poli, protože z jedné strany je připojena příčel části 2.

Sloupy štítových stěn jsou provedeny z válcovaných profilů HEB 260. K základovým patkám jsou připojeny kloubově. V patě uložení je navržena zarážka pro přenos vodorovných sil.

Obvodový stěnový plášť je navržen jako kazetový s kazetami K 100/600 tl. 1,25 mm. Uvnitř kazet je vložena tepelná izolace z expandovaného polystyrenu Isover EPS 200 S tl. 100 mm. Vnější líc konstrukce obvodového stěnového pláště je proveden z trapézových plechů TR 35/207 tl. 0,75 mm. Toto systémové řešení umožňuje umístění prosvětlovacích pásů, které jsou součástí systému



### 8.2.3 Vodorovné a šikmé konstrukce

Hlavní nosníky jeřábové dráhy jsou navrženy jako svařence tvaru písmene „I“, které jsou dvojse symetrické. Výška hlavních nosníků je 600 mm. Tloušťka pásnic je 30 mm, stojina je tloušťky 12 mm. Svaření je navrženo průběžné, provedené automaticky bez přerušení. K horní pásnici jsou přivařeny styčnickové plechy, prostřednictvím kterých se připojuje vodorovný výztužný nosník. Ten je navrženo jako příhradový z válcovaných profilů. Svislice jsou z profilu L 35x4, diagonály z profilů L 60x6, L 55x5 a L 50x5. Pásový prut je navrženo z profilu (úpalku) HEBT 140. Vodorovný nosník je podepřen ve třetinách šikmými vzpěrami, které jsou v hlavě připojeny k pásovému prutu a v patě k výztuhám stojiny hlavního nosníku.

Konzoly podepírající hlavní nosníky jeřábové dráhy jsou navrženy z válcovaných profilů tvaru IPE 600. Jsou připojeny koutovými svary o účinném rozměru 8 mm ke sloupům rámu haly.

Příčle rámu haly jsou navrženy z válcovaných profilů HEB 550. Ke sloupům jsou připojeny svarově. Tyto svary budou provedeny ve výrobě. Příčle je opatřena opracováním pro provedení montážního spoje na staveništi. Tento spoj je umístěn 1 metr od vnitřního líce příruby sloupů. Středová část příčle bude do sedlového tvaru svařena ve výrobě.

Nosná část střešního obvodového pláště je navržena z trapézových plechů TR 50/250 tl. 0,88 mm. Tyto plechy roznášejí zatížení ze střešního pláště do podpůrných konstrukcí, které jsou tvořeny tenkostěnnými vaznicemi tvaru písmene „Z“. Osová vzdálenost vaznic je 1 metr, pouze v přilehlé části střechy v části 2 haly je tato vzdálenost z části zmenšena na 0,5 metru. Vaznice jsou k příčlím kotveny pomocí systémových botek. Vrcholová vaznice je zdvojená a připojena systémovým spojovacím prostředkem. Značení použitých vaznic je Z-300/3-S pro krajní pole a Z-300/2,5-S pro mezilehlé pole. Statické uspořádání vaznic je navrženo jako průběžné spojitě. Spojitost je zajištěna systémově podle konstrukčních zásad.

Samotný střešní plášť je tvořen trapézovým plechem TR 50/250 tl. 0,88 mm, na kterém je kotvena tepelná izolace Orsil Isover S 10 tl. 100 mm. Na této tepelné izolaci je nalepena fóliová hydroizolace Elastek 50 Solo.

### 8.2.4 Základové konstrukce

Návrh a statické posouzení základových konstrukcí není součástí této diplomové práce, je počítáno pouze s odhadovanou velikostí základových patek. Hala je založena prostřednictvím železobetonových základových patek provedených z betonu C 30/35. Předběžně jsou navrženy základové patky o rozměrech 2 x 1,2 x 0,72 m pro sloupy rámu haly a 0,75 x 0,75 x 0,72 m pro sloupy štítových stěn.

Sloupy rámu haly jsou kotveny k základovým konstrukcím pomocí vetknutého přípoje. Sloupy štítových stěn jsou uloženy kloubově.

Zatěžovací údaje:

- Patka rámových sloupů:
  - KZS 84:  $M_{Ed} = 585,05 \text{ kNm}$ ,  $N_{Ed} = 399,81 \text{ kN}$ ,  $V_{Ed} = 117,8 \text{ kN}$
  - KZS 124:  $M_{Ed} = 380,67 \text{ kNm}$ ,  $N_{Ed} = 923,92 \text{ kN}$ ,  $V_{Ed} = 83,83 \text{ kN}$
  - KZS 91:  $M_{Ed} = 525,27 \text{ kNm}$ ,  $N_{Ed} = 512,8 \text{ kN}$ ,  $V_{Ed} = 127,08 \text{ kN}$
- Patka štítových sloupů:
  - $N_{Ed} = 16,26 \text{ kN}$
  - $V_{Ed} = 31,42 \text{ kN}$

### 8.2.5 Zajištění prostorové tuhosti a stability konstrukce

Prostorovou tuhost konstrukce zajišťuje systém střešních a stěnových ztužidel. Všechna ztužidla jsou navržena z bezešvých trubek. Příčná střešní ztužidla jsou z trubek RO 30x5 a je jich ve střešní konstrukci celkem 5 po délce každé lodě. Při okapech obou lodí navazují na příčná střešní ztužidla podélná ztužidla, která jsou shodných profilů. Připojení prutů ztužidel je šroubové. V rovinách podélných stěn a vnitřního sloupořadí se nacházejí podélná stěnová ztužidla, která jsou z trubek RO 177,8x5. Nacházejí se ve stejných modulových polích jako střešní příčná ztužidla a navazují na ně. V krajních polích na podélná stěnová ztužidla navazují ztužidla příčná, která se nacházejí v krajních polích štítových stěn.

### 8.3 POUŽITÉ MATERIÁLY

Ocel: S 235 – použití u všech ocelových prvků

Beton: C 30/35 – základové patky

### 8.4 PODKLADY POUŽITÉ K NÁVRHU A POSOUZENÍ HALY

- Normy:
  - ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
  - ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
  - ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
  - ČSN EN 1991-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 3: Zatížení od jeřábů a strojního vybavení
  - ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby



- ČSN EN 1993-1-3 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-3: Obecná pravidla – Doplnující pravidla pro tenkostěnné za studena tvarované prvky a plošné profily
- ČSN EN 1993-1-9 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-9: Únava
- ČSN EN 1993-6 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 6: Jeřábové dráhy
- ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Spoje

- Literatura:

- Milan Holický, Jana Marková, Miroslav Sýkora: *Zatížení stavebních konstrukcí, příručka k ČSN EN 1991*. Informační centrum ČKAIT, Praha, 2010.
- Josef Macháček, Jiří Studnička: *Ocelové konstrukce 2*. ČVUT, 2005.
- Tomáš Vraný: *Ocelové konstrukce 20, projekt, haly*. ČVUT, 2003.
- J. Hořejší, J. Šafka: *Statické tabulky – technický průvodce 51*: SNTL, 1987.
- Martina Eliášová, Zdeněk Sokol: *Ocelové konstrukce – příklady*: ČVUT, 2005.
- Tomáš Vraný, Martina Eliášová: *Ocelové konstrukce 2 – cvičení*. ČVUT, 2005.
- Jiří Studnička: *Ocelové konstrukce 10 – normy pro navrhování*. ČVUT, 2003.
- Petr Červenka: *Statické a konstrukční tabulky – část 1., tabulková část*. 2002.

- Další zdroje:

- [www.kovoveprofily.cz](http://www.kovoveprofily.cz)
- [www.ocel.wz.cz](http://www.ocel.wz.cz)
- [www.ferona.cz](http://www.ferona.cz)

## 8.5 POUŽITÉ PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ

- MS Office 2010
- Nexis 32 3.60.15
- Auto CAD 2010 + Skijo 2005
- PhotoFiltre

## 9 ZÁVĚR

Navržená konstrukce expediční haly odolá účinkům zatížení a vyhoví tak platným normám a předpisům. Navržená jeřábová dráha rovněž vyhovuje požadavkům platných norem. Jednotlivé prvky konstrukce jsou navrženy tak, aby bezpečně přenesly veškeré zatížení na ně působící a zároveň nebyly příliš masivní a předimenzované. Všechny prvky jsou navrženy z běžně dostupných materiálů a s použitím běžných technologií.

Přehled dimenzí jednotlivých prvků je uveden v následující tabulce.

Tab. 22: Přehled dimenzí jednotlivých prvků.

OBLAST POUŽITÍ	PRVEK	DIMENZE
Základové konstrukce	Patní plech vetknutých patek	P 30, 1140 x 520 mm
	Patní plech kloubových patel	P 20, 300 x 300 mm
	Kotevní příčník	U 140, dl. 800 mm
	Podélná výztuha	U 300, dl. 1120 mm
	Kotevní šrouby vetknuté patky	M 36, 5.8
	Kotevní šrouby kloubové patky	M 30, 4.8
	Zarážka kloubových patek	HEB 100, dl. 70 mm
Rám haly	Sloupy rámu	HEB 500
	Příčel	HEB 550, dl. 9073 mm
Obvodový stěnový plášť	Sloupy štítové stěny	HEB 260
	Stěnové kazety	K 100/600, tl. 1,25 mm
	Trapézový plech	TR 35/207, tl. 0,75 mm
Střešní konstrukce	Vaznice mezilehlých polí	Z-300/2,5-S
	Vaznice krajních polí	Z-300/3-S
	Trapézový plech	TR 50/250, tl. 0,88 mm
Ztužení	Příčná střešní ztužidla	RO 30 x 5
	Podélná střešní ztužidla	RO 30 x 5
	Příčná stěnová ztužidla	RO 177,8 x 5
	Podélná stěnová ztužidla	RO 177,8 x 5
Jeřábová dráha	Konzola jeřábové dráhy	IPE 600, dl. 700 mm
	Hlavní nosník - pásnice	P 30, 300 x 10300 mm
	Hlavní nosník - stojina	P 12, 540 x 10300 mm
	Vodorovný nosník – pásový prut	HEB T 140, dl. 10300 mm

Tab. 22: Přehled dimenzí jednotlivých prvků.

Jeřábová dráha	Vodorovný nosník - svislice	L 35 x 4, dl. 500 mm
	Vodorovný nosník - diagonály	L 60 x 6, dl. 1145 mm
		L 55 x 5, dl. 1145 mm
		L 50 x 5, dl. 1145 mm

## 10 SEZNAM POUŽITÝCH NOREM, LITERATURY A PODKLADŮ

### 10.1 NORMY

- [1] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [2] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- [3] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- [4] ČSN EN 1991-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 3: Zatížení od jeřábů a strojního vybavení
- [5] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [6] ČSN EN 1993-1-3 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-3: Obecná pravidla – Doplnující pravidla pro tenkostěnné za studena tvarované prvky a plošné profily
- [7] ČSN EN 1993-1-9 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-9: Únava
- [8] ČSN EN 1993-6 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 6: Jeřábové dráhy
- [9] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Spoje

### 10.2 LITERATURA

- [10] Milan Holický, Jana Marková, Miroslav Sýkora: *Zatížení stavebních konstrukcí, příručka k ČSN EN 1991*. Informační centrum ČKAIT, Praha, 2010.
- [11] Josef Macháček, Jiří Studnička: *Ocelové konstrukce 2*. ČVUT, 2005.
- [12] Tomáš Vraný: *Ocelové konstrukce 20, projekt, haly*. ČVUT, 2003.
- [13] J. Hořejší, J. Šafka: *Statické tabulky – technický průvodce 51*: SNTL, 1987.





- [14] Martina Eliášová, Zdeněk Sokol: *Ocelové konstrukce – příklady*: ČVUT, 2005.  
[15] Tomáš Vraný, Martina Eliášová: *Ocelové konstrukce 2 – cvičení*. ČVUT, 2005.  
[16] Jiří Studnička: *Ocelové konstrukce 10 – normy pro navrhování*. ČVUT, 2003.  
[17] Petr Červenka: *Statické a konstrukční tabulky – část 1., tabulková část*. 2002.

### 10.3 DALŠÍ ZDROJE

- [18] [www.kovoveprofily.cz](http://www.kovoveprofily.cz)  
[19] [www.ocel.wz.cz](http://www.ocel.wz.cz)  
[20] [www.ferona.cz](http://www.ferona.cz)

## 11 PŘÍLOHY

### 11.1 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Ukázka mostového jeřábu.....	- 6 -
Obr. 2: Příčný řez větví jeřábové dráhy (prostorový nosník).....	- 7 -
Obr. 3: Ukázka mostového jeřábu.....	- 7 -
Obr. 4: Ukázka mostového podvěsného jeřábu.....	- 8 -
Obr. 5: Ukázka podvěsného kladkostroje.....	- 8 -
Obr. 6: Ukázka konzolového jeřábu. ....	- 9 -
Obr. 7: Ukázka portálového jeřábu. ....	- 9 -
Obr. 8: Příklady vyztužení horní pásnice válcovaného nosníku. ....	- 10 -
Obr. 9: Prosté nosníky jeřábové dráhy.....	- 10 -
Obr. 10: Spojité provedení nosníků jeřábové dráhy. ....	- 11 -
Obr. 11: Rámové provedení jeřábové dráhy. ....	- 11 -
Obr. 12: Příklad příčné vazby haly.....	- 13 -
Obr. 13: Dispoziční uspořádání halových objektů.....	- 14 -
Obr. 14: Skladovací hala v Břeclavi s ocelovou rámovou konstrukcí. ....	- 15 -
Obr. 15: Pohled na kostru skladovací haly s ocelovou rámovou konstrukcí.....	- 15 -
Obr. 16: Výrobní hala Horní Počernice.....	- 16 -
Obr. 17: Příčné uspořádání původní expediční haly.....	- 17 -
Obr. 18: Rozmístění sil na mostu jeřábu. ....	- 22 -
Obr. 19: Rozmístění sil na mostu jeřábu. ....	- 23 -
Obr. 20: Rozmístění sil od zatížení zatíženým jeřábem.....	- 23 -
Obr. 21: Rozmístění sil od zatížení nezatíženým jeřábem.....	- 24 -
Obr. 22: Hnací síla od nezávisle poháněných kol. ....	- 24 -



Obr. 23: Definice sil v příčném směru. ....	- 25 -
Obr. 24: Síly od přičení s vedením pomocí nákoků kol.....	- 25 -
Obr. 25: Definice úhlu $\alpha$ a vzdálenosti $h$ . ....	- 27 -
Obr. 26: Uspořádání sil skupiny 1.....	- 29 -
Obr. 27: Uspořádání sil skupiny 5.....	- 30 -
Obr. 28:Uspořádání sil skupiny 6.....	- 30 -
Obr. 29: Působení sil na nosník. ....	- 30 -
Obr. 30: Postavení svislých sil na nosníku podle břemenového kritéria.....	- 31 -
Obr. 31: Zadání sil a průběh reakcí (program Nexis).....	- 31 -
Obr. 32: Průběh ohybových momentů (program Nexis).....	- 32 -
Obr. 33: Rozhodující postavení břemen pro maximální posouvající sílu. ....	- 32 -
Obr. 34: Vyznačení působíště vodorovné podélné síly. ....	- 32 -
Obr. 35: Působení sil na vodorovný nosník. ....	- 33 -
Obr. 36: Předpokládaný průřez hlavního nosníku.....	- 34 -
Obr. 37: Poloha těžiště průřezu nosníku. ....	- 34 -
Obr. 38: Rozměry pro zatížení průřezu. ....	- 35 -
Obr. 39: Rozměry ekvivalentní tlačené pásnice. ....	- 37 -
Obr. 40: Vzporující část průřezu. ....	- 39 -
Obr. 41: Průřez kolejnicí JKL 55 bez opotřebení.....	- 41 -
Obr. 42: Rozměry příčné výztuhy a účinná část stojiny nosníku. ....	- 44 -
Obr. 43: Rozměry koncové výztuhy a účinná část stojiny. ....	- 45 -
Obr. 44: Umístění soustavy sil na nosníku. ....	- 47 -
Obr. 45: Geometrické schéma vodorovného nosníku.....	- 48 -
Obr. 46: Příčnicková čára a působíště síly.....	- 49 -
Obr. 47: Průběh ohybových momentů na pásovém prutu. ....	- 49 -
Obr. 48: Průřez poloviny HEB 140. ....	- 50 -
Obr. 49: Příčnicková čára a působíště síly.....	- 52 -
Obr. 50: Průřez L 35x4. ....	- 53 -
Obr. 51: Příčnicková čára a působíště síly.....	- 54 -
Obr. 52: Průřez L 60x6. ....	- 54 -
Obr. 53: Příčnicková čára a působíště síly.....	- 55 -
Obr. 54: Průřez L 55x5. ....	- 56 -
Obr. 55: Příčnicková čára a působíště síly.....	- 57 -
Obr. 56: Průřez L 55x5. ....	- 58 -



Obr. 57: Příčnicková čára a působíště síly.....	- 59 -
Obr. 58: Průřez L 50x5. ....	- 59 -
Obr. 59: Příčnicková čára a působíště síly.....	- 60 -
Obr. 60: Průřez L 50x5. ....	- 61 -
Obr. 61: Statické schéma a čísla profilů prutů. ....	- 62 -
Obr. 62: Průhyb pásových prutů v horizontální rovině. ....	- 62 -
Obr. 63: Postavení břemen pro určení $M_{max}$ .....	- 63 -
Obr. 64: Postavení břemen pro určení $V_{max}$ .....	- 63 -
Obr. 65: Svarový přípoj pásnice a styčnicku.....	- 64 -
Obr. 66: Vyznačení umístění spoje.....	- 72 -
Obr. 67: Geometrie přípoje. ....	- 72 -
Obr. 68: Vyznačení umístění spoje.....	- 73 -
Obr. 69: Geometrie přípoje. ....	- 73 -
Obr. 70: Uspořádání zatížení při navátí.....	- 76 -
Obr. 71: Kombinace zatížení bez navátí. ....	- 76 -
Obr. 72: Znázornění působení příčného větru na stěny.....	- 78 -
Obr. 73: Rozložení oblastí po stěnách haly. ....	- 78 -
Obr. 74: Rozložení oblastí po stěnách haly. ....	- 79 -
Obr. 75: Rozložení oblastí na stěnách při podélném větru. ....	- 80 -
Obr. 76: Rozložení oblastí na střeše pro příčný vítr 1. ....	- 81 -
Obr. 77: Rozložení oblastí na střeše pro příčný vítr 2. ....	- 82 -
Obr. 78: Rozložení oblastí na střeše pro podélný vítr. ....	- 83 -
Obr. 79: Kombinace zatížení pro příčný vítr 1. ....	- 86 -
Obr. 80: Zatížení pro podélný vítr. ....	- 87 -
Obr. 81: Obalová křivka ohybových momentů pro vl. tíhu a příčný/podélný vítr. ....	- 87 -
Obr. 82: Schématické rozložení a číslování vaznic v části s navátým sněhem a zatížení navátým sněhem.....	- 88 -
Obr. 83: Kombinace zatížení pro příčný vítr 1. ....	- 89 -
Obr. 84: Kombinace zatížení pro příčný vítr 2. ....	- 89 -
Obr. 85: Zatížení pro podélný vítr. ....	- 89 -
Obr. 86: Obalová křivka ohybových momentů pro vl. tíhu a příčný/podélný vítr. ....	- 90 -
Obr. 87: Kombinace zatížení pro příčný vítr 1. ....	- 91 -
Obr. 88: Kombinace zatížení pro příčný vítr 2. ....	- 91 -
Obr. 89: Zatížení pro podélný vítr. ....	- 91 -



Obr. 90: Rozklad sil ve vrcholu. ....	- 93 -
Obr. 91: Kotvení mezilehlých vaznic a propojení vrcholových vaznic. ....	- 93 -
Obr. 92: Spojování vaznic v podélném směru. ....	- 93 -
Obr. 93: Geometrické schéma příčné vazby haly. ....	- 94 -
Obr. 94: Schéma rozložení zatížení. ....	- 94 -
Obr. 95: Schéma rozložení zatížení. ....	- 95 -
Obr. 96: Schéma rozložení zatížení. ....	- 96 -
Obr. 97: Schéma rozložení zatížení. ....	- 97 -
Obr. 98: Schéma rozložení zatížení. ....	- 97 -
Obr. 99: Schéma rozložení zatížení. ....	- 98 -
Obr. 100: Oblasti střešního pláště a stěny působící na rám při příčném větru 1. ....	- 99 -
Obr. 101: Schéma rozložení zatížení. ....	- 100 -
Obr. 102: Oblasti střešního pláště a stěny působící na rám při příčném větru 2. ....	- 101 -
Obr. 103: Schéma rozložení zatížení. ....	- 102 -
Obr. 104: Oblasti střešního pláště a stěny působící na rám při podélném větru. ....	- 103 -
Obr. 105: Schéma rozložení zatížení. ....	- 104 -
Obr. 106: Schéma rozložení zatížení. ....	- 105 -
Obr. 107: Schéma rozložení zatížení. ....	- 105 -
Obr. 108: Schéma rozložení zatížení. ....	- 106 -
Obr. 109: Schéma rozložení zatížení. ....	- 106 -
Obr. 110: Svislý průhyb příčl. ....	- 107 -
Obr. 111: Vodorovný posun levého sloupu. ....	- 107 -
Obr. 112: Vodorovný posun středního sloupu. ....	- 108 -
Obr. 113: Vodorovný posun pravého sloupu. ....	- 109 -
Obr. 114: Průběh ohybových momentů. ....	- 110 -
Obr. 115: Průběh normálových sil. ....	- 110 -
Obr. 116: Průběh posouvajících sil. ....	- 110 -
Obr. 117: Průběh ohybových momentů. ....	- 111 -
Obr. 118: Průběh normálových sil. ....	- 111 -
Obr. 119: Průběh posouvajících sil. ....	- 111 -
Obr. 120: Vyznačení polohy rámového rohu v konstrukci. ....	- 122 -
Obr. 121: Uspořádání rámového rohu. ....	- 124 -
Obr. 122: Geometrie patky. ....	- 125 -
Obr. 123: Efektivní oblast desky. ....	- 126 -



Obr. 124: Síla do šroubu a do betonu. ....	- 126 -
Obr. 125: Průřez patky. ....	- 127 -
Obr. 126: Schéma působení sil. ....	- 128 -
Obr. 127: Geometrie patky.....	- 130 -
Obr. 128: Efektivní oblast desky.....	- 131 -
Obr. 129: Síla do šroubu a do betonu. ....	- 132 -
Obr. 130: Průřez patky. ....	- 132 -
Obr. 131: Schéma působení sil. ....	- 134 -
Obr. 132: Geometrie patky.....	- 135 -
Obr. 133: Efektivní oblast desky.....	- 136 -
Obr. 134: Síla do šroubu a do betonu. ....	- 137 -
Obr. 135: Průřez patky. ....	- 137 -
Obr. 136: Schéma působení sil. ....	- 139 -
Obr. 137: Schéma sloupků štítové stěny.....	- 141 -
Obr. 138: Geometrie kloubové patky.....	- 143 -
Obr. 139: Efektivní plocha patního plechu.....	- 144 -
Obr. 140: Připojení zarážky. ....	- 145 -
Obr. 141: Rozhodující část haly se stěnovými sloupky.....	- 145 -
Obr. 142: Geometrické schéma ztužidla. ....	- 146 -
Obr. 143: Normálové síly na diagonálách. ....	- 146 -
Obr. 144: Geometrie přípoje.....	- 148 -
Obr. 145: Tahové síly v prutech ztužidla. ....	- 149 -
Obr. 146: Geometrie stěnového ztužidla. ....	- 150 -
Obr. 147: Normálové síly na prutech ztužidla.....	- 151 -
Obr. 148: Geometrie přípoje v místě patky sloupu.....	- 153 -
Obr. 149: Geometrie středového ztužidla.....	- 153 -
Obr. 150: Normálové síly na prutech ztužidla.....	- 155 -
Obr. 151: Geometrie přípoje v místě patky sloupu.....	- 157 -
Obr. 152: Geometrie středového ztužidla.....	- 157 -
Obr. 153: Normálové síly na prutech ztužidla.....	- 159 -
Obr. 154: Provedení přípoje.....	- 164 -
Obr. 155: Montážní přípoj příčle a sloupu. ....	- 164 -
Obr. 156: Hřebenové spojení příčlí. ....	- 165 -

## 11.2 SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Různé druhy dynamických součinitelů $\varphi_i$ .....	- 21 -
Tab. 2: Druhy dynamických součinitelů $\varphi_i$ pro svislá zatížení. ....	- 21 -
Tab. 3: Hodnoty $\beta_2$ a $\varphi_2, min.$ .....	- 22 -
Tab. 4: Hodnoty součinitele $\varphi_5$ .....	- 22 -
Tab. 5: Definice $\alpha_F$ , $\alpha_v$ a $\alpha_0$ .....	- 26 -
Tab. 6: Skupiny zatížení a dynamických součinitelů.....	- 29 -
Tab. 7: Rekapitulace vnitřních sil.....	- 34 -
Tab. 8: Rozložení spektra zatížení. ....	- 64 -
Tab. 9: Mezní počet cyklů.....	- 65 -
Tab. 10: Mezní počet cyklů.....	- 66 -
Tab. 11: Mezní počet cyklů.....	- 67 -
Tab. 12: Srovnávací napětí pro tři kombinace napjatosti.....	- 68 -
Tab. 17: Zatížení od tíhy střešního pláště.....	- 75 -
Tab. 18: Zatížení od tíhy stěnového pláště.....	- 75 -
Tab. 19: Užité zatížení na střeše.....	- 75 -
Tab. 21: Hodnoty přípustného zatížení pro MSÚ a MSP na plech TR 50/250.....	- 85 -
Tab. 22: Přehled dimenzí jednotlivých prvků. ....	- 170 -

## 11.3 SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

Č. VÝKRESU	OBSAH VÝKRESU
1	Řez halou
2	Pohled východní, pohled západní
3	Pohled severní, pohled jižní
4	Půdorys střechy
5	Schéma kotvení
6	Pohled B
7	Řez A-A
8	Pohled A
9	Schéma provedení jeřábových drah
10	Detail D1
11	Detail D2
12	Detail D3